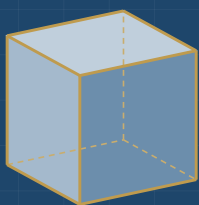


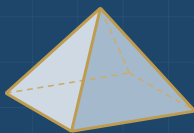
MATERIAŁ DO DRUKU · A4 · SZABLONY W SKALI 1:1

Zestaw brył geometrycznych 3D ze sznurkiem

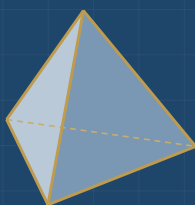
*Pociągnij za sznurek, a płaska siatka zamieni się w bryłę.
Sześć brył, osiemnaście szablonów, instrukcje montażu krok
po kroku i geometria każdego modelu.*



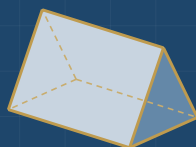
sześcian



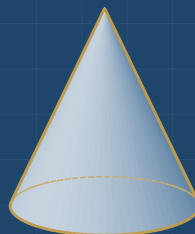
ostrosłup
czworokątny



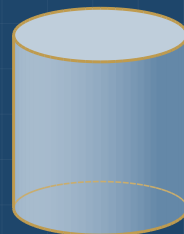
ostrosłup
trójkątny



graniastosłup
trójkątny



stożek



walec

Linie cięcia, linie zgięcia i otwory na sznurek już zaznaczone

Drukuj bez ograniczeń · dla domu, klasy i pracowni

Co zawiera ten zestaw

Ten zestaw to gotowy materiał do druku, dzięki któremu z jednej kartki powstaje przestrzenny model bryły. Na każdej siatce są już zaznaczone linie cięcia, linie zgięcia i ponumerowane otwory na sznurek. Nie trzeba niczego mierzyć ani rysować: wystarczy wyciąć, przebić otwory, przewlec sznurek i pociągnąć.

Sześć brył, trzy szablony każdej z nich

Bryła	Co w niej ciekawego	Technika	Szablony
Sześcian	Sześć jednakowych kwadratów. Wieczko zamykane klapką.	A: pętla	L, M, pudełko otwarte
Ostrosłup czworokątny	Podstawa kwadratowa i cztery trójkąty równoboczne.	A: pętla	L, M, wariant wysoki
Ostrosłup trójkątny	Czworościan foremny: cztery trójkąty równoboczne.	A: pętla	L, M, wariant wysoki
Graniastosłup trójkątny	Leży na prostokącie, podstawy są trójkątami.	A: pętla	L, M, wariant dach
Stożek	Wycinek koła zwija się w powierzchnię boczną.	B: szew	L, M, wariant niski
Walec	Prostokąt zwija się w rurę zamkniętą dwoma kołami.	B: szew	L, M, wariant wysoki

Jak zbudowany jest każdy rozdział bryły

- **Karta bryły** - definicja, elementy, wzory i przykłady z otoczenia.
- **Anatomia siatki** - które krawędzie spotkają się w gotowym modelu.
- **Trzy szablony** - rozmiar L, rozmiar M oraz wariant kształtu.
- **Schemat nawlekania** - kolejność otworów i strona, po której będzie sznurek.
- **Montaż krok po kroku** - od wydruku do gotowej bryły.
- **Problemy i rozwiązania** - co zrobić, gdy model nie chce się złożyć.
- **Matematyka modelu** - pole, objętość i długość sznurka policzone dla szablonów.
- **Obserwacje na modelu** - symetrie, przekroje i rzuty, które widać na gotowej bryle.

Jeden plik, nieograniczony druk

Plik możesz drukować dowolną liczbę razy: dla każdego ucznia, dla każdej grupy, rok po roku. Warto zachować jeden komplet modeli jako wzorzec, a szablony drukować na bieżąco.

Dwie techniki sznurka

- **Technika A, pętla podnosząca** (sześcian, ostrosłupy, graniastosłup): sznurek biegnie dookoła podstawy, a jego skracanie podnosi wszystkie ściany naraz.
- **Technika B, sznurowanie szwu** (stożek, walec): sznurek zszywa dwie krawędzie jak sznurówka, a ściągnięcie zamyka powierzchnię boczną.

Spis treści

Co zawiera ten zestaw	2
Szybki start	6
Rozdział 1. Przygotowanie do pracy	7
Materiały i narzędzia	8
Papier i ustawienia drukarki	9
Test skali wydruku	10
Legenda oznaczeń na szablonach	11
Cięcie i bigowanie	12
Przebijanie otworów	13
Sznurek: rodzaj, długość, przygotowanie	14
Stanowisko pracy i bezpieczeństwo	15
Rozdział 2. Technika sznurka	16
Jak działa pętla podnosząca	17
Technika A krok po kroku	18
Jak działa sznurowanie szwu	19
Technika B krok po kroku	20
Zamykanie, blokowanie i rozkładanie	21
Diagnostyka: dwanaście typowych błędów	22
Rozdział 3. Geometria brył w pigułce	23
Wielościany i bryły obrotowe	24
Elementy bryły	25
Siatka bryły	26
Wzór Eulera na modelach	27
Pola powierzchni i objętości	28
Rozdział 4. Sześćcian	29
Karta bryły: sześćcian	30
Anatomia siatki sześćcianu	31
Szablon L: sześćcian	32
Szablon M: sześćcian	33
Szablon wariant: pudełko otwarte	34
Schemat nawlekania: sześćcian	35
Montaż sześćcianu krok po kroku	36
Sześćcian: problemy i rozwiązania	37
Matematyka modelu: sześćcian	38
Obserwacje na modelu sześćcianu	39

Rozdział 5. Ostrosłup czworokątny	40
Karta bryły: ostrosłup czworokątny	41
Anatomia siatki ostrosłupa czworokątnego	42
Szablon L: ostrosłup czworokątny	43
Szablon M: ostrosłup czworokątny	44
Szablon wariant: ostrosłup wysoki	45
Schemat nawlekania: ostrosłup czworokątny	46
Montaż ostrosłupa czworokątnego krok po kroku	47
Ostrosłup czworokątny: problemy i rozwiązania	48
Matematyka modelu: ostrosłup czworokątny	49
Obserwacje na modelu ostrosłupa czworokątnego	50
 Rozdział 6. Ostrosłup trójkątny	 51
Karta bryły: ostrosłup trójkątny	52
Anatomia siatki ostrosłupa trójkątnego	53
Szablon L: czworościan foremny	54
Szablon M: czworościan foremny	55
Szablon wariant: ostrosłup trójkątny wysoki	56
Schemat nawlekania: ostrosłup trójkątny	57
Montaż ostrosłupa trójkątnego krok po kroku	58
Ostrosłup trójkątny: problemy i rozwiązania	59
Matematyka modelu: ostrosłup trójkątny	60
Obserwacje na modelu ostrosłupa trójkątnego	61
 Rozdział 7. Graniastosłup trójkątny	 62
Karta bryły: graniastosłup trójkątny	63
Anatomia siatki graniastosłupa trójkątnego	64
Szablon L: graniastosłup trójkątny	65
Szablon M: graniastosłup trójkątny	66
Szablon wariant: dach	67
Schemat nawlekania: graniastosłup trójkątny	68
Montaż graniastosłupa trójkątnego krok po kroku	69
Graniastosłup trójkątny: problemy i rozwiązania	70
Matematyka modelu: graniastosłup trójkątny	71
Obserwacje na modelu graniastosłupa trójkątnego	72
 Rozdział 8. Stożek	 73
Karta bryły: stożek	74
Anatomia siatki stożka	75
Szablon L: stożek	76
Szablon M: stożek	77
Szablon wariant: stożek niski	78

Schemat sznurowania: stożek	79
Montaż stożka krok po kroku	80
Stożek: problemy i rozwiązania	81
Matematyka modelu: stożek	82
Obserwacje na modelu stożka	83
Rozdział 9. Walec	84
Karta bryły: walec	85
Anatomia siatki walca	86
Szablon L: walec	87
Szablon M: walec	88
Szablon wariant: walec wysoki	89
Schemat sznurowania: walec	90
Montaż walca krok po kroku	91
Walec: problemy i rozwiązania	92
Matematyka modelu: walec	93
Obserwacje na modelu walca	94
Dodatki	95
Zestawienie sześciu brył	96
Wymiary wszystkich szablonów	97
Karta kontroli jakości modelu	98
Przygotowanie zestawu dla grupy	99
Słowniczek pojęć (A-P)	100
Słowniczek pojęć (P-Z)	101
Pytania i odpowiedzi (1)	102
Pytania i odpowiedzi (2)	103
Notatki	104
Zakończenie	105

Szybki start w sześciu krokach

Jeśli chcesz zrobić pierwszy model od razu, wybierz ostrosłup trójkątny w rozmiarze L. Ma tylko sześć otworów i składa się w kilka sekund. Pełne instrukcje znajdziesz w rozdziałach 1 i 2.

1 Wydrukuj stronę testu skali

W ustawieniach drukarki wybierz skalę 100% lub rozmiar rzeczywisty. Zmierz linijkę kontrolną: musi mieć dokładnie 100 mm. Dopiero wtedy drukuj szablon.

2 Wydrukuj szablon na grubszym papierze

Najlepiej sprawdza się papier 180-220 g/m². Zwykły papier 80 g/m² jest za miękki i model będzie się zapadał.

3 Zagnij linie przerywane, zanim wytniesz

Poprowadź tępą końcówkę (np. pusty długopis) wzdłuż linii przerywanych przy linijce. Zgięcia będą równe i sznurek podniesie ściany bez oporu.

4 Wytnij po liniach ciągłych

Tnij dokładnie po linii. Na łukach obracaj kartkę, a nie nożyczki.

5 Przebij otwory i przewlec sznurek

Przebij każdy zaznaczony otwór na miękkiej podkładce. Siatka leży nadrukiem do góry. Przewlekaj sznurek w kolejności numerów: z nieparzystego do parzystego pod spodem, z parzystego do nieparzystego na wierzchu.

6 Odwróć, pociągnij i zawiąż

Odwróć siatkę nadrukiem do stołu i przytrzymaj podstawę. Pociągnij równo oba końce sznurka do góry i obserwuj, jak ściany same się podnoszą. Gdy krawędzie się zetkną, zawiąż kokardkę.

Zanim zaczniesz

Nożyk do papieru i szpikulec to narzędzia dla dorosłych. Dzieci mogą ciąć nożyczkami z zaokrąglonymi końcami, a otwory może przygotować wcześniej dorosły.

Po zabawie model można rozłożyć

Wystarczy rozwiązać kokardkę i poluzować sznurek. Siatka wraca do postaci płaskiej, więc modele łatwo przechowywać w teczce i składać ponownie.

1

ROZDZIAŁ 1

Przygotowanie do pracy



Dobry model zaczyna się przed pierwszym cięciem: od właściwego papieru, poprawnej skali wydruku i kilku prostych narzędzi.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Materiały i narzędzia
- ❖ Papier i ustawienia drukarki
- ❖ Test skali wydruku
- ❖ Legenda oznaczeń
- ❖ Cięcie i bigowanie
- ❖ Przebijanie otworów
- ❖ Sznurek
- ❖ Stanowisko i bezpieczeństwo

Materiały i narzędzia

Do zbudowania wszystkich modeli wystarczą przedmioty, które zwykle są w domu lub w szkolnej szafie. Tabela pokazuje, do czego służy każde narzędzie i czym można je zastąpić.

Materiał lub narzędzie	Do czego służy	Zamiennik
Papier 180-220 g/m²	Sztywne ściany, które trzymają kształt po ściągnięciu sznurka.	Blok techniczny, cienki karton kolorowy
Drukarka	Wydruk szablonów w skali 100%.	Punkt ksero z wydrukiem na grubszym papierze
Nożyczki	Wycinanie siatki po liniach ciągłych.	Nożyk do papieru z metalową linijką
Nożyk i mata do cięcia	Precyzyjne cięcie długich prostych krawędzi.	Nożyczki (wolniej, ale bezpieczniej)
Metalowa linijka	Prowadzenie bigówki i nożyka.	Twarda linijka plastikowa
Bigówka	Wyciskanie rowka wzdłuż linii zgięcia.	Pusty długopis, tępą stroną noża stołowego
Szpikulec lub dziurkacz 3 mm	Przebijanie otworów na sznurek.	Gruba igła, ostry ołówek, cyrkiel
Miękka podkładka	Podkład pod papier przy przebijaniu otworów.	Korek, styropian, złożony filc
Sznurek 1-1,5 mm	Podnoszenie ścian i zamykanie szwu.	Kordonek, nić woskowana, cienki sznurek bawełniany
Taśma klejąca	Usztywnienie końcówki sznurka.	Tępą igłą z dużym uchem
Spinacze biurowe	Przytrzymanie szwu w stożku i walcu.	Klamerki do bielizny

Zestaw minimum

Jeśli chcesz zacząć od razu: papier techniczny, nożyczki, pusty długopis, gruba igła, kawałek korka i około 60 cm kordonka. To wystarczy do każdego modelu w rozmiarze L.

Dlaczego nie klej?

Modele w tym zestawie trzymają kształt dzięki sznurkowi i klapkom. Brak kleju oznacza, że bryłę można wielokrotnie składać i rozkładać, a siatka po rozłożeniu znowu leży płasko.

Papier i ustawienia drukarki

Gramatura papieru decyduje o tym, czy model będzie sztywny i czy zgięcia będą ostre. Skala wydruku decyduje o tym, czy otwory trafią tam, gdzie powinny.

Jaki papier wybrać

Gramatura	Zachowanie w modelu	Ocena
80-100 g/m ²	Ściany się uginają, otwory łatwo się rozrywają. Model nie trzyma kształtu.	odradzany
120-160 g/m ²	Wystarcza dla rozmiaru M. Przy rozmiarze L ściany mogą się lekko wybrzuszać.	dopuszczalny
180-220 g/m ²	Najlepsza równowaga: sztywne ściany, łatwe zginanie, drukuje się w większości drukarek.	zalecany
250-300 g/m ²	Bardzo sztywny. Wymaga starannego bigowania, nie każda drukarka go przyjmie.	dla wprawnych

Sprawdź w instrukcji drukarki, jaką maksymalną gramaturę obsługuje. Grubszy papier najlepiej podawać z tylnego lub ręcznego podajnika, pojedynczo, stroną do druku zgodnie z oznaczeniem na podajniku.

Ustawienia wydruku

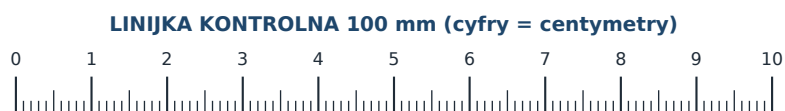
Ustawienie	Wartość	Dlaczego
Skala	100% lub rozmiar rzeczywisty	Opcja dopasuj do strony zmniejsza siatkę o kilka procent.
Rozmiar papieru	A4	Szablony są projektowane na A4 z marginesami 17 mm.
Orientacja	Pionowa	Wszystkie strony są pionowe.
Druk dwustronny	Wyłączony	Tył siatki powinien być czysty.
Jakość	Standardowa	Linie są cienkie i ostre także w trybie standardowym.
Kolor	Kolor lub skala szarości	Linie przerywane są czytelne w obu trybach.

Najczęstszy błąd: dopasowanie do strony

Przy wydruku z opcją dopasuj do strony siatka zmniejsza się zwykle o 3-6%. Model nadal się złoży, ale wymiary w rozdziałach z obliczeniami przestaną się zgadzać z pomiarem. Zawsze zaczynaj od testu skali.

Test skali wydruku

Wydrukuj tę stronę z tymi samymi ustawieniami, których użyjesz do szablonów. Zmierz linijką trzy elementy poniżej.



Wzorzec otworu

☐ średnica 3 mm (standard)

☐ średnica 2 mm (cienki sznurek)

5 mm

Odległość środka otworu od krawędzi: 5 mm

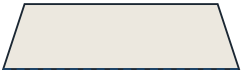
Pomiar	Wynik poprawny	Co oznacza błąd
Linijka kontrolna	100 mm (dopuszczalnie 99-101 mm)	96-97 mm: włączone dopasowanie do strony.
Kwadrat	50 × 50 mm	Różne boki: drukarka skaluje nierówno, zmień sterownik lub tryb druku.
Pasek na szablonie	20 mm	Każdy szablon ma własny pasek kontrolny w nagłówku.

Jak poprawić skalę

- W oknie drukowania wybierz rozmiar rzeczywisty lub skalę niestandardową 100%.
- Wyłącz opcje: dopasuj, zmniejsz duże strony, drukuj bez marginesów.
- Jeśli drukujesz z przeglądarki, pobierz plik i otwórz go w przeglądarce PDF.
- Po zmianie ustawień wydrukuj test jeszcze raz i zmierz ponownie.

Legenda oznaczeń na szablonach

Każdy szablon używa tych samych oznaczeń. Warto poświęcić minutę, żeby je poznać, bo od nich zależy kolejność pracy.

Znak	Nazwa	Znaczenie
	Linia cięcia	Linia ciągła. Wycinasz dokładnie po niej.
	Linia zgięcia	Linia przerywana. Najpierw bigujesz, potem zginasz od nadruku.
	Otwór z numerem	Krzyżyk w kółku to środek otworu 3 mm. Liczba obok to kolejność przewlekania.
START 1 → 2	Znacznik START	Na ścianie z tym napisem zaczynasz nawlekanie i wiążesz kokardkę.
	Pole niebieskie	Podstawa lub ściana dolna: ta część leży na stole podczas ciągnięcia.
	Pole kremowe	Ściany boczne i powierzchnie, które podnosi lub zwija sznurek.
	Pole szare	Klapka lub ząbek. Nie jest ścianą bryły, chowa się do środka.
	Sznurek na wierzchu	Na schematach: odcinek po stronie z nadrukiem.
	Sznurek pod spodem	Na schematach: odcinek po stronie bez nadruku.
	Para krawędzi	Na stronach anatomii: krawędzie z tą samą literą spotkają się w bryle.

Zasada numeracji otworów

Otwory numerujemy w kolejności przewlekania. Z otworu o numerze nieparzystym do następnego parzystego sznurek biegnie pod spodem siatki. Z otworu parzystego do następnego nieparzystego biegnie na wierzchu, po stronie z nadrukiem. Ta sama zasada obowiązuje w obu technikach.

Cięcie i bigowanie

Bigowanie, czyli wyciśnięcie rowka wzdłuż linii zgięcia, jest najważniejszym krokiem przygotowania. Dobrze zbigowana siatka składa się pod lekkim pociągnięciem sznurka.

Właściwa kolejność

- 1 Najpierw bigowanie**
Całą kartkę kładziesz na twardym podłożu i bigujesz linie przerywane, zanim cokolwiek wytniesz. Kartka jest wtedy stabilna i nie przesuwa się.
- 2 Potem cięcie**
Wycinasz siatkę po liniach ciągłych. Proste krawędzie najwygodniej ciąć nożykiem przy linijce, łuki i ząbki nożyczkami.
- 3 Na końcu wstępne złożenie**
Każde zgięcie zaginasz raz do około 90 stopni i rozkładasz. Papier zapamiętuje kierunek, a sznurek potem tylko go powtarza.

Kierunek zginania

Zginaj tak, aby strona z nadrukiem znalazła się na zewnątrz bryły. Patrząc na wydruk, ściana odchyła się od ciebie, w dół, pod kartkę. Dzięki temu na gotowym modelu widać nazwy ścian i numery, a biegnący po wierzchu sznurek tworzy równy pas dookoła bryły.

Wskazówki do cięcia

- Tnij dokładnie po linii albo minimalnie na zewnątrz. Ścięcie do środka zmniejsza ścianę i zostawia szczelinę na krawędzi bryły.
- Przy nożyku prowadź ostrze kilka razy lekko, zamiast raz mocno. Linijkę trzymaj po stronie siatki, a nie odpadu.
- Wklęsłe narożniki (między ścianami bocznymi) docinaj od zewnątrz do wierzchołka, dwoma cięciami spotykającymi się w punkcie.
- Ząbki kół w stożku i walcu wycinaj pojedynczo, zaczynając od ich boków.
- Nie wycinaj otworów nożyczkami. Otwory przebijasz osobno, po wycięciu siatki.

Przebijanie otworów

Otwory mają średnicę 3 mm, a ich środek leży 5 mm od krawędzi ściany. Taka odległość zostawia wystarczająco dużo papieru, żeby sznurek go nie rozerwał.

Metoda	Jak wykonać	Uwagi
Szpikulec na podkładce	Położ siatkę na korku lub styropianie i przebij środek krzyżyka. Obróć narzędzie, aby poszerzyć otwór do 3 mm.	Najdokładniejsza metoda.
Dziurkacz 3 mm	Wsuń krawędź ściany do dziurkacza i ustaw krzyżyk w okienku.	Szybko przy wielu kopiach.
Gruba igła lub cyrkiel	Przebij, a następnie poszerz otwór ołówkiem obracanym w miejscu.	Dobra przy cienkim sznurku.
Dziurkacz biurowy 6 mm	Nie zalecany.	Otwór sięga prawie do krawędzi i łatwo się rozrywa.

Kontrola po przebicciu

- Każdy otwór jest okrągły, bez pęknięcia w stronę krawędzi.
- Sznurek przechodzi przez otwór bez szarpania, ale nie jest w nim luźny jak w dużej dziurze.
- Otwory leżą na krzyżykach. Przesunięty otwór sprawia, że dwie ściany spotkają się krzywo.

Wzmocnienie do wielokrotnego użytku

Jeśli model ma być składany wiele razy, naklej od spodu na każdy otwór mały kwadrat przezroczystej taśmy i przebij otwór przez papier i taśmę razem. Brzeg otworu nie będzie się strzępił.

Bezpieczeństwo

Szpikulec zawsze kieruj w dół, w podkładkę, nigdy w stronę dłoni przytrzymującej papier. Przy pracy z dziećmi otwory przygotowuje dorośli.

Sznurek: rodzaj, długość, przygotowanie

Sznurek musi być gładki, żeby przesunął się w otworach, i na tyle mocny, żeby utrzymać ściany. Zbyt gruby blokuje się w otworach, zbyt cienki przecina papier.

Rodzaj	Grubość	Ocena	Uwagi
Kordonek bawełniany	1-1,2 mm	bardzo dobry	Gładki, tani, wiele kolorów.
Nić woskowana	0,8-1 mm	bardzo dobry	Ślizga się najlepiej, trudno się supła.
Sznurek bawełniany cienki	1,5 mm	dobry	Wymaga otworu 3 mm, dobrze trzyma węzeł.
Sznurek jutowy	2 mm i więcej	słaby	Szorstki i gruby, blokuje się w otworach.
Żyłka wędkarska	0,3-0,5 mm	odradzany	Tnie papier i nie trzyma węzła.
Gumka	dowolna	odradzany	Nie pozwala zablokować kształtu i ciągnie ściany w złą stronę.

Ile sznurka odciąć

Długość sznurka to długość trasy przez wszystkie otwory plus 15 cm zapasu na każdy koniec. Dla każdego szablonu podajemy wartość obliczoną z jego wymiarów. W praktyce wystarczy zapamiętać: rozmiar L potrzebuje około 55-65 cm, rozmiar M około 50 cm.

Przygotowanie końcówki

- Owiń 2 cm końcówki taśmą klejącą, skręcając ją w cienką, sztywną igłę. Tak przygotowany koniec łatwo przechodzi przez otwór.
- Alternatywnie nawlecz sznurek na tępą igłę z dużym uchem.
- Wybierz kolor kontrastujący z papierem. Łatwiej sprawdzisz trasę sznurka i znajdziesz pomyłkę.
- Nie zawiązuj supła na końcu przy technice A. Supeł blokujący potrzebny jest tylko w technice B.

Stanowisko pracy i bezpieczeństwo

Dobrze przygotowane miejsce skraca pracę o połowę i ogranicza pomyłki, zwłaszcza gdy przy stole pracuje kilka osób naraz.

Organizacja stanowiska

- Twarde, równe podłoże do bigowania i cięcia.
- Osobna miękka podkładka do otworów.
- Pojemnik na ścinki, żeby nie myliły się z siatkami.
- Sznurki odcięte wcześniej na właściwą długość.
- Dobre światło z boku: rowki bigowania są wtedy lepiej widoczne.

Praca w grupie

- Dorosły przygotowuje otwory przed zajęciami.
- Uczniowie pracują parami: jedna osoba trzyma podstawę, druga ciągnie.
- Każdy podpisuje swoją siatkę ołówkiem od spodu.
- Gotowe modele odkładamy na jedną tacę, rozłożone.

Zasady bezpieczeństwa

Narzędzie	Ryzyko	Jak pracować bezpiecznie
Nożyk do papieru	Skaleczenie	Tylko dorośli. Ostrze chowane po każdym cięciu. Linijka metalowa, palce za linijką.
Szpikulec, igła	Ukłucie	Przebijać zawsze w podkładkę, ruchem pionowym, dłoń z boku.
Nożyczki	Skaleczenie	Dla dzieci nożyczki z zaokrąglonymi końcami.
Sznurek	Zadzierzgnięcie	Nie owijać sznurka wokół szyi ani palców. Małe dzieci pod stałą opieką.
Drobne ścinki	Połknięcie	Sprzątanie ścinków od razu po wycinaniu, szczególnie przy małych dzieciach.

Przechowywanie

Rozłożone siatki przechowuj płasko w koszulce lub teczce, ze sznurkiem pozostawionym w otworach. Przed kolejnym użyciem wystarczy go ponownie ściągnąć.

2

ROZDZIAŁ 2

Technika sznurka



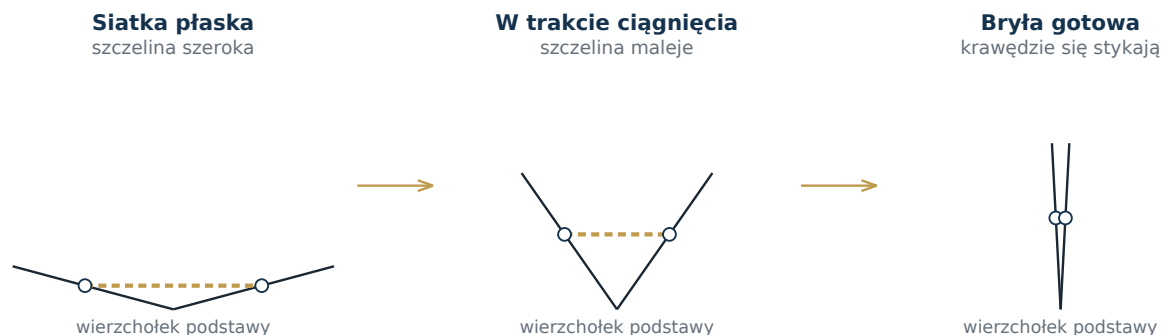
Dwie techniki wystarczą do wszystkich modeli. Pętla podnosząca stawia ściany wokół podstawy, a sznurowanie szwu zamyka powierzchnie zwijane.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Jak działa pętla
- ❖ Technika A krok po kroku
- ❖ Jak działa szew
- ❖ Technika B krok po kroku
- ❖ Zamykanie i rozkładanie
- ❖ Diagnostyka błędów

Jak działa pętla podnosząca

Sznurek tworzy zamkniętą pętlę wokół podstawy. Część pętli biegnie po ścianach, a część przeskakuje nad szczelinami między nimi. Ciągnięcie skraca tylko odcinki nad szczelinami, a to jest możliwe wyłącznie wtedy, gdy ściany się podnoszą i zbliżają do siebie.



Dwa rodzaje odcinków

Odcinki na ścianach (na wierzchu, niebieskie na schematach) łączą dwa otwory tej samej ściany. Ich długość się nie zmienia, bo ściana jest sztywna.

Odcinki nad szczelinami (pod spodem, złote przerywane) łączą otwory dwóch sąsiednich ścian. Na płaskiej siatce są długie, a w gotowej bryle mają zaledwie kilka milimetrów.

Przykład liczbowy: ostrosłup czworokątny L

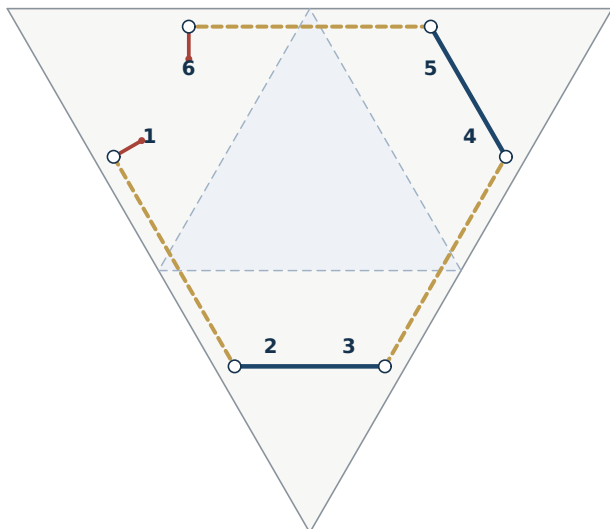
Stan siatki	Długość pętli	Komentarz
Siatka płaska	29,3 cm	Ściany leżą, odcinki nad szczelinami są najdłuższe.
Bryła złożona	11,5 cm	Sąsiednie otwory są oddalone o niecały centymetr.
Różnica	17,9 cm	Tyle sznurka wyciągasz z pętli, żeby postawić bryłę.

Dlaczego wszystkie ściany dotykają podstawy

Pętla może podnieść tylko te ściany, które są przyczepione do podstawy. Dlatego w technice A używamy siatek gwiazdzystych: podstawa w środku, ściany boczne dookoła. W sześciianie wieczone jest wyjątkiem i zamyka się klapką, a w graniastostupie wszystkie cztery pozostałe ściany dotykają ściany dolnej.

Technika A krok po kroku

Opis dotyczy każdej bryły składanej pętlą. Przewlekasz sznurek przy siatce leżącej nadrukiem do góry, a ciągniesz po jej odwróceniu. Przykład: ostrosłup trójkątny, sześć otworów, jedna pętla.



Niebieski: na wierzchu. Żółty: pod spodem. Czerwony: wolne końce.

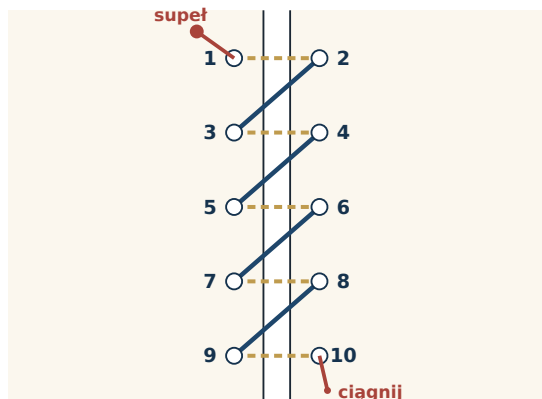
Odcinek	Strona
1 → 2	pod spodem
2 → 3	na wierzchu
3 → 4	pod spodem
4 → 5	na wierzchu
5 → 6	pod spodem

Oba wolne końce wychodzą na wierzch przy otworach 1 i 6, czyli na ścianie 1.

- Położ siatkę nadrukiem do góry**
Numery otworów są wtedy widoczne i łatwo pilnować kolejności.
- Wprowadź sznurek w otwór 1 od góry**
Zostaw na wierzchu około 15 cm wolnego końca.
- Przeprowadź sznurek pod spodem do otworu 2**
Wyciągnij go na wierzch przez otwór 2.
- Na wierzchu przejdź do otworu 3**
Sznurek leży płasko na ścianie, między jej dwoma otworami.
- Powtarzaj aż do ostatniego otworu**
Nieparzysty do parzystego pod spodem, parzysty do nieparzystego na wierzchu.
- Odwróć siatkę nadrukiem do stołu**
Końce sznurka wyprowadź spod ściany 1 na zewnątrz. Nadruk znajdzie się teraz na zewnątrz bryły.
- Przytrzymaj podstawę i pociągnij**
Dociśnij środek podstawy palcami, a drugą ręką ciągnij oba końce równo do góry. Ściany wstają same.

Jak działa sznurowanie szwu

Stożek i walec mają powierzchnię boczną, która powstaje przez zwinięcie płaskiej figury. Dwie proste krawędzie tej figury trzeba połączyć w jeden szew. Robi to sznurek przewleczony zygzakiem, jak w sznurowaniu buta.



Co widać na schemacie

- Dwa pasy papieru to lewa i prawa krawędź powierzchni bocznej, zsunięte do siebie.
- Żółte odcinki przerywane biegną w poprzek szwu od środka bryły.
- Niebieskie odcinki biegną ukośnie po zewnętrznej stronie.
- Supuł blokujący przy otworze 1 nie pozwala sznurkowi się wysunąć.
- Ciągnięcie wolnego końca skraca wszystkie odcinki i zamyka szew.

Dlaczego szew, a nie pętla

Powierzchnia boczna stożka i walca nie ma krawędzi, które mogłyby się podnieść wokół podstawy. Zamiast tego cała figura musi się zwinąć. Sznurowanie przytrzymuje zwiniętą powierzchnię na całej długości szwu, a koła podstaw z ząbkami zamykają bryłę od góry i od dołu.

Szew może być ozdobą

Sznurek w kolorze kontrastowym tworzy na gotowym stożku lub walcu wyraźny zygzak. Pokazuje on dokładnie tworzącą, czyli odcinek, wzdłuż którego powierzchnia boczna została rozcięta.

Technika B krok po kroku

W technice B sznurujesz już zwiniętą powierzchnię. Szew zaczyna się luźno, z odstępem około 1,5 cm między krawędziami, a ciągnięcie domyka go do końca.

- 1 Przygotuj koła podstaw**
Zagnij wszystkie ząbki w stronę bez nadruku, pod kątem prostym do koła.
- 2 Zwiń powierzchnię boczną**
Nadruk na zewnątrz. Zbliź proste krawędzie tak, aby otwory o tych samych poziomach leżały naprzeciw siebie.
- 3 Przytrzymaj spinaczami**
Dwa spinacze, u góry i u dołu szwu, utrzymają kształt podczas nawlekania.
- 4 Zawiąż supeł blokujący**
Na jednym końcu sznurka zawiąż gruby supeł, na przykład ósemkę.
- 5 Przewlecz od otworu 1**
Wprowadź sznurek od zewnątrz w otwór 1 tak, aby supeł został na zewnątrz. Od środka przejdź do otworu 2.
- 6 Kontynuuj zygzakiem**
Otwór 2 na zewnątrz, ukośnie do 3, do środka, poziomo do 4, na zewnątrz i dalej.
- 7 Ściągaj stopniowo**
Zdejmij spinacze. Dociągaj sznurek odcinek po odcinku, od otworu 1 w stronę końca, aż krawędzie się zetkną na całej długości.
- 8 Zabezpiecz koniec**
Przełóż wolny koniec pod ostatnim odcinkiem na zewnątrz i zawiąż półszytk.
- 9 Zamknij podstawy**
Złóż koło na zawiasie i wsuń ząbki do środka. Ząbki opierają się od wewnątrz o ścianę.

Zasada numeracji jest ta sama

Nieparzysty do parzystego: od środka bryły. Parzysty do nieparzystego: po zewnętrznej stronie. Na siatce płaskiej odpowiada to stronom: pod spodem i na wierzchu.

Zamykanie, blokowanie i rozkładanie

Model zbudowany sznurkiem można zablokować w pozycji bryły i w każdej chwili rozłożyć. Wystarczą trzy proste węzły.

Węzeł	Gdzie	Jak zawiązać
Kokardka	Technika A, oba końce na ścianie 1	Jak przy sznurowaniu buta. Pociągnięcie za wolny koniec rozwiązuje ją natychmiast.
Ósemka	Technika B, początek sznurka	Zrób pętlę, owiń koniec wokół sznurka i przełóż przez pętlę od drugiej strony. Jest grubsza od otworu.
Półszyk	Technika B, koniec sznurka	Przełóż koniec pod ostatnim odcinkiem, utwórz pętlę i przeciągnij przez nią koniec. Dociągnij.

Rozkładanie modelu

- 1 Rozwiąż węzeł**
Kokardkę rozwiąż jednym ruchem, półszyk poluzuj szpikulcem.
- 2 Poluzuj sznurek**
Rozsuń delikatnie ściany. W technice B poluzuj każdy odcinek zygzaka.
- 3 Rozłóż płasko**
Siatka wraca do postaci płaskiej. Sznurek może zostać w otworach.

Ile razy można składać

Model z papieru 200 g/m² wytrzyma kilkadziesiąt cykli składania. Najszybciej zużywają się brzegi otworów i zgięcia wieczone. Wzmocnienie otworów taśmą przedłuży życie modelu kilkakrotnie.

Pokaz dla grupy

Największe wrażenie robi pierwsze składanie na oczach widzów. Połóż nawleczoną siatkę nadrukiem do stołu i bardzo powoli unosź końce sznurka: bryła wyłania się z płaszczyzny w ciągu kilku sekund.

Diagnostyka: dwanaście typowych błędów

Większość problemów ma jedną z trzech przyczyn: brak bigowania, zła kolejność otworów albo zbyt gruby sznurek. Tabela pomaga szybko znaleźć właściwą.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Ściany nie podnoszą się	Zgięcia nie są zbigowane	Zagnij każde zgięcie ręcznie do 90 stopni i rozłóż.
Nadruk znalazł się wewnątrz bryły	Siatka nie została odwrócona przed ciągnięciem	Rozłóż, odwróć siatkę nadrukiem do stołu i ciągnij ponownie.
Jedna ściana zostaje na płasko	Pominięty otwór	Sprawdź kolejność: każda ściana ma dwa otwory w pętli.
Pętla się blokuje	Sznurek za gruby lub otwór za mały	Poszerz otwory albo użyj kordonka.
Papier pęka przy otworze	Otwór za blisko krawędzi	Przebijaj dokładnie w krzyżyk, wzmocnij taśmą.
Krawędzie mijają się	Nierówne cięcie	Przytnij wystającą ścianę do linii.
Szczelina na krawędzi	Ściana przycięta za mocno	Dociągnij pętlę mocniej, zawiąż kokardkę.
Model się przechyla	Końce ciągnięte nierówno	Rozluźnij i ciągnij oba końce jednocześnie.
Wieczko nie domyka się	Klapka nie zbigowana	Zbiguj linię klapki, zaokrąglaj jej narożniki.
Szew rozchodzi się u dołu	Za słabo dociągnięte ostatnie odcinki	Dociągaj odcinek po odcinku, do końca.
Podstawa wypada	Ząbki nie zagięte	Zagnij ząbki pod kątem prostym przed zamknięciem.
Wymiary się nie zgadzają	Wydruk przeskalowany	Zrób test skali i drukuj w rozmiarze rzeczywistym.

3

ROZDZIAŁ 3

Geometria brył w pigułce



Kilka pojęć, które pozwalają opisać każdy model z zestawu: ściany, krawędzie, wierzchołki, siatki, pola i objętości.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Wielościany i bryły obrotowe
- ❖ Elementy bryły
- ❖ Siatka bryły
- ❖ Wzór Eulera
- ❖ Pola i objętości

Wielościany i bryły obrotowe

Bryła to część przestrzeni ograniczona powierzchnią. Wszystkie modele z zestawu należą do jednej z dwóch rodzin: wielościanów albo brył obrotowych.

Wielościany

Wielościan jest ograniczony wyłącznie wielokątami. Każdy wielokąt to ściana, bok wspólny dwóch ścian to krawędź, a punkt, w którym spotykają się co najmniej trzy ściany, to wierzchołek.

Graniastosłup ma dwie przystające i równoległe podstawy, a jego ściany boczne są równoległobokami (w graniastosłupie prostym: prostokątami). **Ostrosłup** ma jedną podstawę, a ściany boczne są trójkątami o wspólnym wierzchołku.

Bryły obrotowe

Bryła obrotowa powstaje przez obrót figury płaskiej wokół prostej, zwanej osią obrotu. Jej powierzchnia boczna jest zakrzywiona, dlatego nie ma krawędzi w sensie wielościanu.

Walec powstaje z obrotu prostokąta wokół jednego z boków. **Stożek** powstaje z obrotu trójkąta prostokątnego wokół jednej z przyprostokątnych.

Sześć brył zestawu w dwóch rodzinach

Bryła	Rodzina	Rodzaj	Ściany lub powierzchnie
Sześcian	wielościan	graniastosłup prawidłowy czworokątny	6 kwadratów
Ostrosłup czworokątny	wielościan	ostrosłup prawidłowy	1 kwadrat, 4 trójkąty
Ostrosłup trójkątny	wielościan	czworościan foremny (w wersjach L i M)	4 trójkąty
Graniastosłup trójkątny	wielościan	graniastosłup prosty	2 trójkąty, 3 prostokąty
Stożek	bryła obrotowa	stożek prosty	koło i powierzchnia boczna
Walec	bryła obrotowa	walec prosty	2 koła i powierzchnia boczna

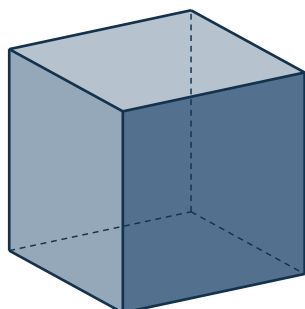
Sześcian też jest graniastosłupem

Sześcian spełnia definicję graniastosłupa: ma dwie przystające, równoległe podstawy (kwadraty) i prostokątne ściany boczne. Jest graniastosłupem prawidłowym, w którym wszystkie krawędzie są równe.

Elementy bryły

Te same nazwy pojawiają się na szablonach, w instrukcjach i w obliczeniach. Warto mieć je zebrane w jednym miejscu.

Pojęcie	Znaczenie	Gdzie w zestawie
Ściana	Wielokąt ograniczający wielościan.	Każde pole siatki z nazwą ŚCIANA.
Podstawa	Wyróżniona ściana (lub koło), na której bryła zwykle stoi.	Pole PODSTAWA w środku siatki.
Ściana boczna	Każda ściana poza podstawami.	Ściany podnoszone przez pętlę.
Krawędź	Odcinek wspólny dwóch ścian.	Zgięcie lub para krawędzi cięcia.
Wierzchołek	Punkt wspólny co najmniej trzech ścian.	Narożnik, w którym zbiegają się zgięcia.
Wysokość bryły	Odległość wierzchołka (lub górnej podstawy) od płaszczyzny podstawy.	Obliczenia w rozdziałach brył.
Wysokość ściany bocznej	Wysokość trójkąta ściany bocznej ostrosłupa.	Ostrosłupy.
Promień podstawy	Promień koła będącego podstawą.	Stożek i walec.
Tworząca	Odcinek na powierzchni bocznej łączący brzegi podstaw lub wierzchołek z brzegiem podstawy.	Szew stożka i walca.
Oś obrotu	Prosta, wokół której obraca się figura tworząca bryłę.	Stożek i walec.



Linia ciągła: krawędź widoczna. Linia przerywana: krawędź niewidoczna.

Jak czytać rysunki brył

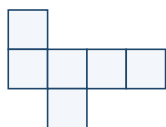
Bryły na rysunkach przedstawiamy w rzucie, w którym widać trzy ściany naraz. Krawędzie zasłonięte przez bryłę rysujemy linią przerywaną. To ta sama konwencja, którą uczniowie stosują w zeszycie.

Na gotowym modelu można to sprawdzić: ustaw bryłę tak jak na rysunku i policz krawędzie, których nie widać.

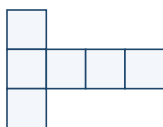
Siatka bryły

Siatka bryły to płaska figura, którą można złożyć w bryłę tak, żeby ściany nie nachodziły na siebie i nie zostawiały luk. Ta sama bryła ma zwykle wiele różnych siatek.

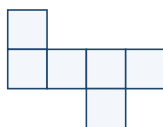
Jedenaście siatek sześcianu



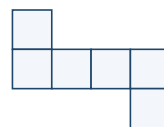
Siatka 1



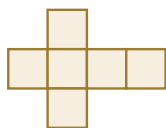
Siatka 2



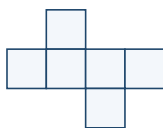
Siatka 3



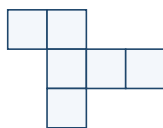
Siatka 4



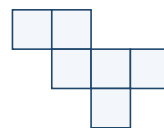
Siatka 5 (krzyż)



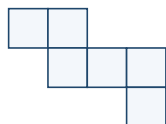
Siatka 6



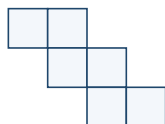
Siatka 7



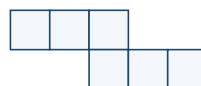
Siatka 8



Siatka 9



Siatka 10



Siatka 11

Sześcian ma dokładnie jedenaście różnych siatek (siatki obrócone lub odbite liczymy jako tę samą).

Każdą z nich sprawdziliśmy programem, który toczy sześcian po kwadratach siatki: każda ściana dotyka papieru dokładnie raz.

Dlaczego w zestawie jest krzyż

Pętla sznurka podnosi tylko ściany przyczepione do jednej wspólnej ściany. Spośród jedenastu siatek tylko siatka numer 5, krzyż, ma kwadrat z czterema sąsiadami. Ten kwadrat jest podstawą, cztery sąsiednie kwadraty to ściany podnoszone sznurkiem, a szósty kwadrat staje się wieczkiem.

Siatki brył obrotowych

Siatka walca to prostokąt i dwa koła, a siatka stożka to wycinek koła i koło. Dokładnie takich siatek nie da się złożyć bez zwijania papieru, dlatego w tych bryłach sznurek zszywa szew zamiast podnosić ściany.

Wzór Eulera na modelach

Dla każdego wielościanu wypukłego liczba wierzchołków minus liczba krawędzi plus liczba ścian daje zawsze 2. Na modelach z zestawu można to sprawdzić własnymi rękami.

Bryła	Wierzchołki W	Krawędzie K	Ściany S	$W - K + S$
Sześcián	8	12	6	2
Ostrosłup czworokątny	5	8	5	2
Ostrosłup trójkątny	4	6	4	2
Graniastosłup trójkątny	6	9	5	2

Wzór Eulera zapisany w siatce

Każda siatka wielościanu jest połączona zgięciami tak, że z każdej ściany można dojść do każdej innej, ale nie ma zamkniętych obiegów. Dlatego siatka o S ścianach ma zawsze $S - 1$ zgięć. Pozostałe krawędzie bryły powstają w chwili składania, gdy spotykają się dwie krawędzie cięcia.

Bryła	Zgięcia $S - 1$	Krawędzie ze złączenia $K - (S - 1)$	Krawędzie cięcia
Sześcián	5	7	14
Ostrosłup czworokątny	4	4	8
Ostrosłup trójkątny	3	3	6
Graniastosłup trójkątny	4	5	10

Ostatnia kolumna jest zawsze dwa razy większa od przedostatniej, bo każda krawędź ze złączenia powstaje z dwóch krawędzi cięcia. Na stronach anatomii siatek te pary oznaczono tymi samymi literami.

Uwaga o klapkach

Klapki wiecška sześciánu i ząbki kół nie są ścianami bryły. Nie wliczamy ich do wzoru Eulera. Stożek i walec nie są wielościanami, więc wzór Eulera ich nie dotyczy.

Pola powierzchni i objętości

Wszystkie wzory zestawu w jednej tabeli. W rozdziałach brył te same wzory są zastosowane do wymiarów konkretnych szablonów.

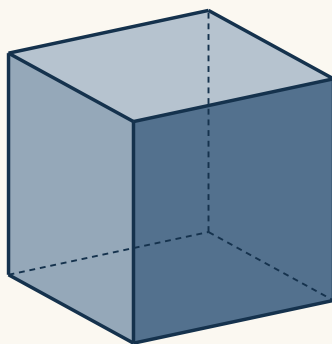
Bryła	Oznaczenia	Pole powierzchni całkowitej	Objętość
Sześcian	a - krawędź	$P = 6a^2$	$V = a^3$
Ostrosłup prawidłowy czworokątny	a - krawędź podstawy, h - wysokość ściany bocznej, H - wysokość	$P = a^2 + 2ah$	$V = a^2H / 3$
Czworościan foremny	a - krawędź	$P = a^2\sqrt{3}$	$V = a^3\sqrt{2} / 12$
Graniastosłup prawidłowy trójkątny	a - krawędź podstawy, L - długość	$P = a^2\sqrt{3} / 2 + 3aL$	$V = a^2\sqrt{3} L / 4$
Stożek	r - promień, l - tworząca, H - wysokość	$P = \pi r^2 + \pi rl$	$V = \pi r^2 H / 3$
Walec	r - promień, h - wysokość	$P = 2\pi r^2 + 2\pi rh$	$V = \pi r^2 h$

Zależności pomocnicze

- Wysokość trójkąta równobocznego o boku a: $a\sqrt{3} / 2$. Pole: $a^2\sqrt{3} / 4$.
- Wysokość ostrosłupa prawidłowego czworokątnego: $H^2 = s^2 - a^2/2$, gdzie s to krawędź boczna.
- Wysokość stożka z twierdzenia Pitagorasa: $H^2 = l^2 - r^2$.
- Kąt wycinka koła w siatce stożka: $\alpha = 360^\circ \cdot r / l$.
- Długość prostokąta w siatce walca równa jest obwodowi podstawy: $2\pi r$.

Pole powierzchni to pole siatki

Pole powierzchni całkowitej bryły jest równe polu jej siatki bez kłapek i ząbków. Można to sprawdzić na szablonie: podzielić siatkę na kwadraty, trójkąty lub prostokąty i zsumować ich pola.



ROZDZIAŁ 4

Sześćcian krok po kroku

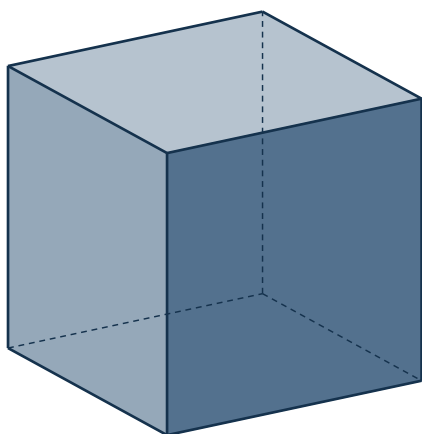


Sześć kwadratów, dwanaście krawędzi, osiem wierzchołków. Cztery ściany wstają dzięki pętli, a wieczko zamyka się klapką bez kleju.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Karta bryły
- ❖ Anatomia siatki
- ❖ Szablon L
- ❖ Szablon M
- ❖ Szablon: pudełko otwarte
- ❖ Schemat nawlekania
- ❖ Montaż krok po kroku
- ❖ Problemy i rozwiązania
- ❖ Matematyka modelu
- ❖ Obserwacje na modelu

Karta bryły: sześcián



Sześcián to wielościan ograniczony sześcioma przystającymi kwadratami. W każdym wierzchołku spotykają się trzy ściany pod kątem prostym.

Ściany	6 kwadratów
Krawędzie	12, wszystkie równe
Wierzchołki	8
Kąt między ścianami	90°
Płaszczyzny symetrii	9

Wzory i wartości dla szablonu L

Wielkość	Wzór	Szablon L (a = 52 mm)
Przekątna ściany	$a\sqrt{2}$	7,4 cm
Przekątna sześciánu	$a\sqrt{3}$	9,0 cm
Pole powierzchni	$6a^2$	162,2 cm ²
Objętość	a^3	140,6 cm ³

Sześcián wokół nas

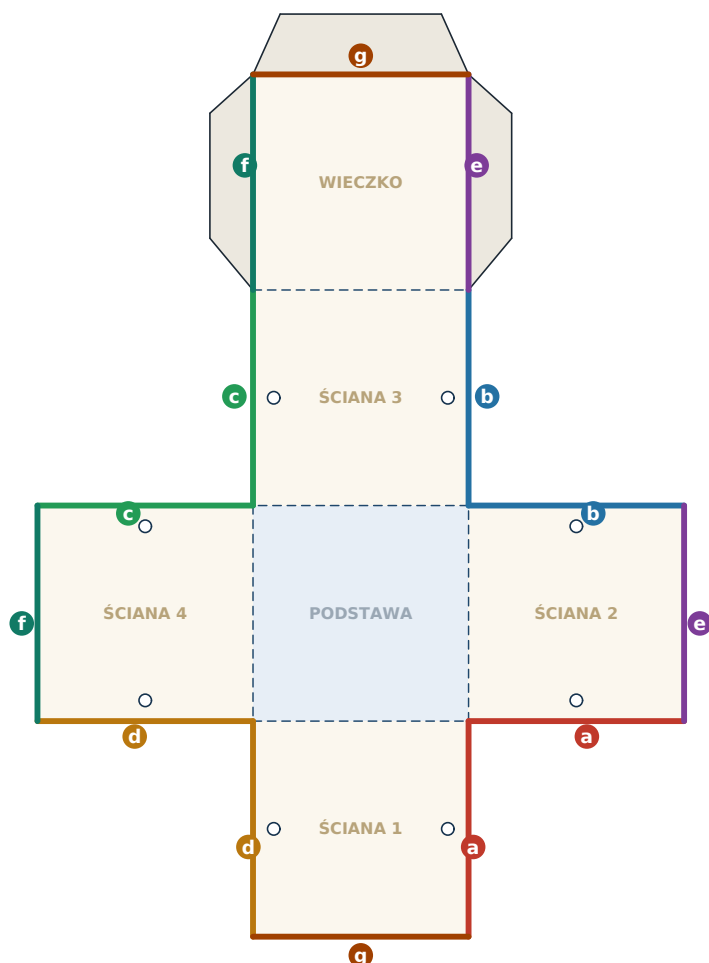
- Kostka do gry: suma oczek na przeciwległych ścianach wynosi 7.
- Kartonowe pudełka i kontenery transportowe (zbliżone kształtem).
- Kostki cukru i kostki lodu.
- Kryształy soli kuchennej rosną w kształcie sześciánów.
- Klocki do budowania i kostki logiczne.
- Jednostki objętości: 1 cm³ to sześcián o krawędzi 1 cm.

Ciekawostka

Sześcián jest jedynym wielościanem foremnym, którym można szczelnie wypełnić przestrzeń bez żadnych luk. Dlatego objętość mierzymy w sześciánach: centymetrach i metrach sześciennych.

Anatomia siatki sześcianu

Siatka ma kształt krzyża z dodatkowym kwadratem wieczka. Kolorowe litery pokazują, które krawędzie cięcia spotkają się w gotowej bryle.



Para	Co się łączy	Jak
a	ściana 1 + ściana 2	pętla
b	ściana 2 + ściana 3	pętla
c	ściana 3 + ściana 4	pętla
d	ściana 4 + ściana 1	pętla
e	ściana 2 + wieczko	klapka boczna
f	ściana 4 + wieczko	klapka boczna
g	ściana 1 + wieczko	klapka wsuwana

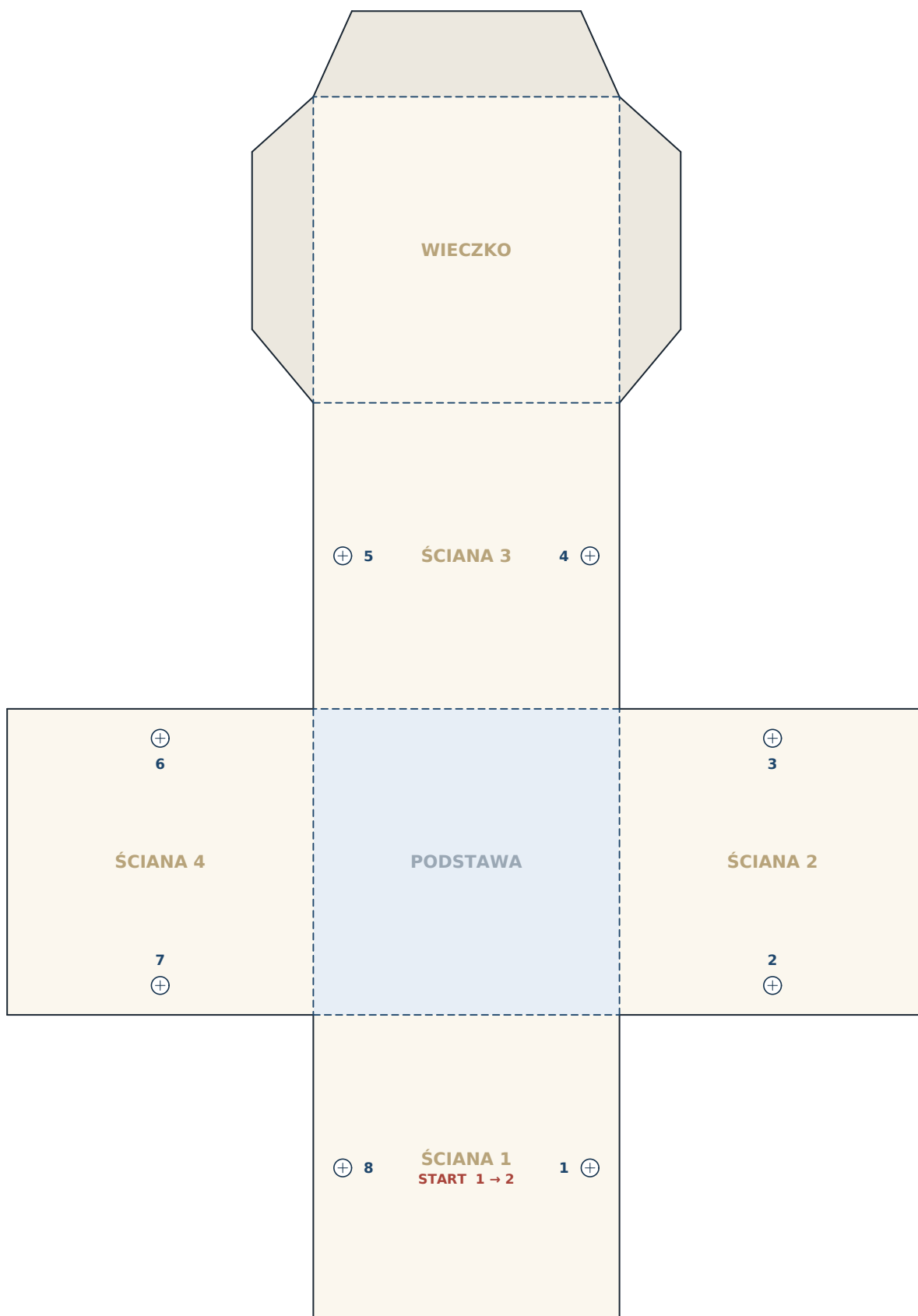
Pary a-d to cztery pionowe krawędzie. Domyka je pętla sznurka. Pary e-g to górne krawędzie. Domyka je wieczko z klapkami.

Liczmy elementy siatki

Element	Liczba	Uwagi
Ściany bryły	6	podstawa, cztery ściany boczne, wieczko
Zgięcia ścian	5	$S - 1 = 6 - 1$
Zgięcia kłapek	3	klapka wsuwana i dwie klapki boczne
Pary krawędzi cięcia	7	litery a-g, razem $5 + 7 = 12$ krawędzi
Otwory	8	po dwa na każdej ścianie bocznej

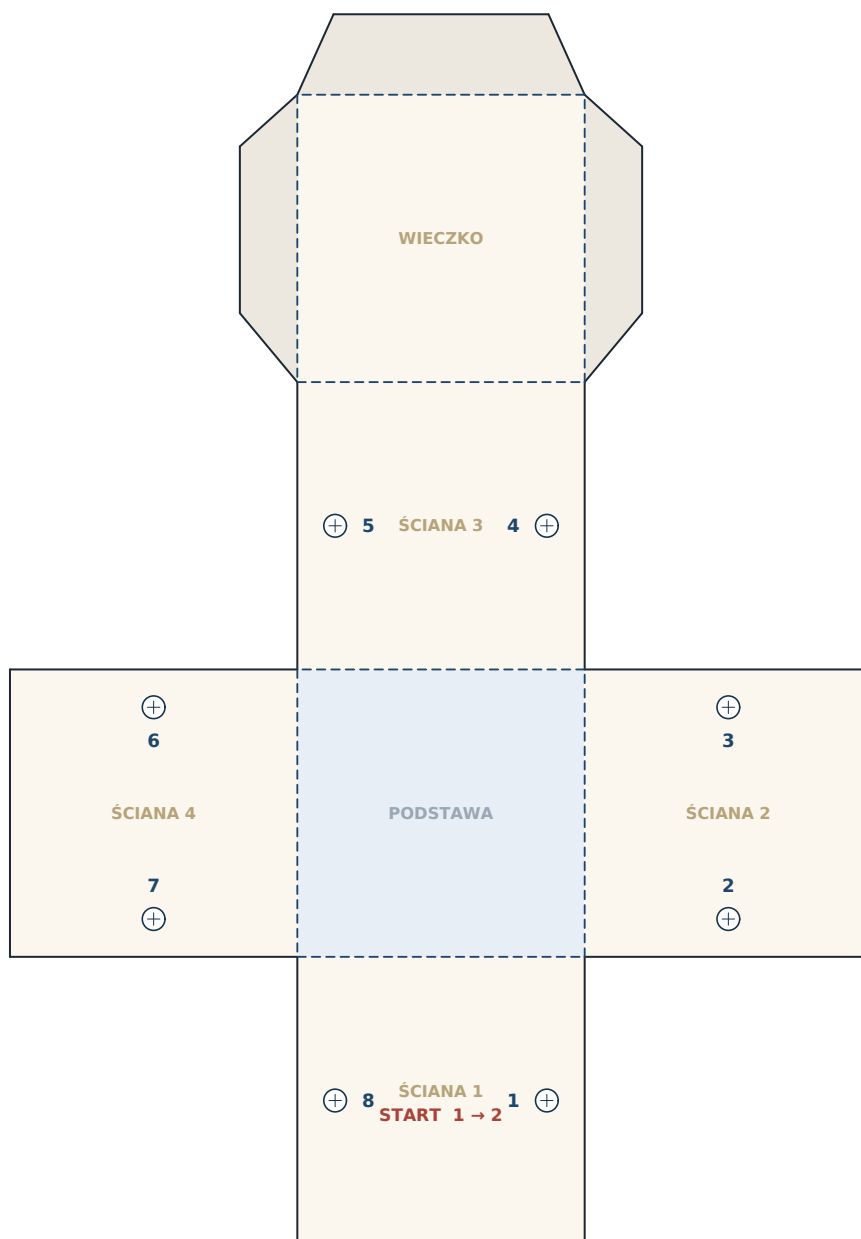
Sześcian, krawędź 52 mmSznurek: 60,1 cm · 8 otworów · wieczko z klapką · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Sześćcian, krawędź 38 mmSznurek: 52,0 cm · 8 otworów · papier od 160 g/m² · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

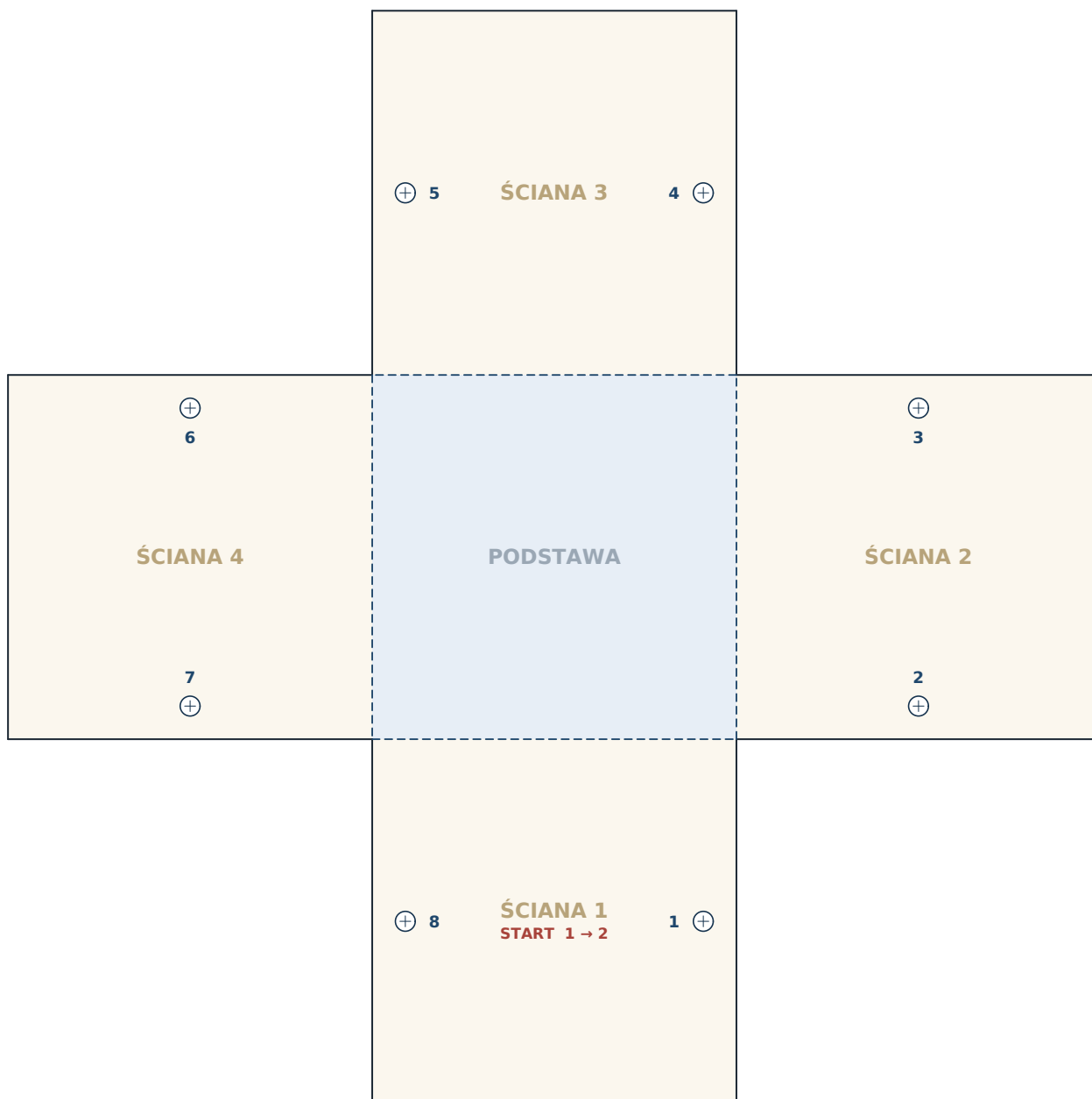
kontrola skali: 20 mm



Pudełko otwarte, krawędź 55 mm

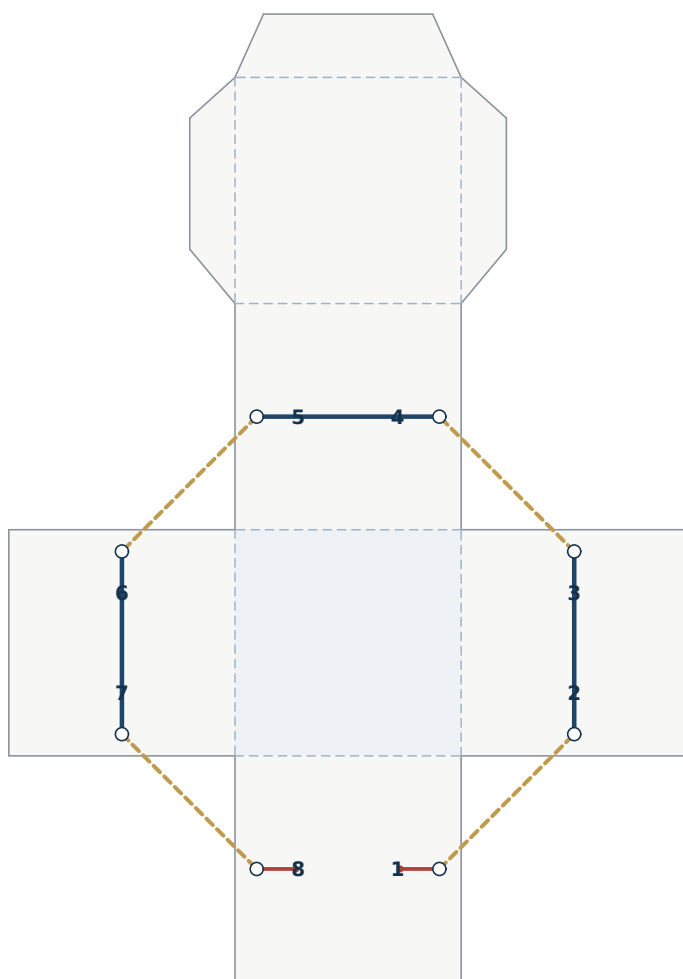
Sznurek: 61,9 cm · bez wieczka: pojemnik, model objętości · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Schemat nawlekania: sześcián

Pętla biegnie wokół podstawy w połowie wysokości ścian. Osiem otworów, cztery odcinki po ścianach i cztery odcinki nad szczelinami.



Odcinek	Strona	Przebieg
start	wierzch	wejście w otwór 1 od strony nadruku
1 → 2	pod spodem	przez szczelinę: ściana 1 → ściana 2
2 → 3	na wierzchu	po ścianie: ściana 2
3 → 4	pod spodem	przez szczelinę: ściana 2 → ściana 3
4 → 5	na wierzchu	po ścianie: ściana 3
5 → 6	pod spodem	przez szczelinę: ściana 3 → ściana 4
6 → 7	na wierzchu	po ścianie: ściana 4
7 → 8	pod spodem	przez szczelinę: ściana 4 → ściana 1
koniec	wierzch	wyjście z otworu 8, oba końce na: ściana 1

Siatka widziana od strony nadruku. Wieczko nie bierze udziału w pętli.

Sprawdzenie przed ciągnięciem

- Na ścianach 2, 3 i 4 sznurek leży na wierzchu, w poprzek ściany.
- Na ścianie 1 nie ma odcinka: stąd wychodzą oba końce.
- Pod spodem cztery odcinki przecinają puste narożniki między ścianami.

Montaż sześcianu krok po kroku

Czas pracy: około 20 minut przy pierwszym modelu, 10 minut przy kolejnych. Najtrudniejsze jest dokładne wycięcie wieczka z klapkami.

- 1 Wydruk i kontrola skali**
Zmierz pasek 20 mm w nagłówku szablonu.
- 2 Bigowanie**
Zbignij cztery zgięcia wokół podstawy, zgięcie wieczka i trzy zgięcia kłapek.
- 3 Wycinanie**
Wklęsłe narożniki między ścianami docinaj dokładnie do wierzchołka podstawy. Narożniki kłapek zaokrąglaj nożyczkami o 1 mm.
- 4 Wstępne złożenie**
Zagnij wszystkie zgięcia od nadruku do 90° i rozłóż. Klapki zagnij mocniej, prawie do 180°.
- 5 Otwory**
Przebij osiem otworów na krzyżykach ścian bocznych.
- 6 Nawlekanie**
Nadrukiem do góry: od otworu 1 do 8 według schematu. Końce zostają przy otworach 1 i 8.
- 7 Odwrócenie i ciągnięcie**
Odwróć siatkę nadrukiem do stołu, dociśnij podstawę i ciągnij końce do góry. Ścianę 3 z wieczkiem przytrzymaj lekko palcem, bo wstaje wolniej.
- 8 Kokardka**
Gdy cztery pionowe krawędzie się zetkną, zawiąż kokardkę na ścianie 1.
- 9 Zamknięcie wieczka**
Wsuń klapki boczne do środka za ściany 2 i 4, a klapkę wsuwaną za ścianę 1.
- 10 Kontrola**
Wieczko leży płasko, krawędzie są domknięte, bryła stoi stabilnie na podstawie.

Sześcian: problemy i rozwiązania

Sześcian ma najwięcej elementów ruchomych ze wszystkich brył zestawu. Oto problemy, które pojawiają się najczęściej.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Ściany rozchylają się u góry	Pętla trzyma ściany w połowie wysokości, górę trzyma wieczko	Najpierw zamknij wieczko. Przy wariacie otwartym użyj papieru 220 g/m ² .
Ściana 3 zostaje z tyłu	Wieczko jest ciężką dźwignią	Podtrzymaj wieczko palcem podczas ciągnięcia.
Klapka wsuwana nie wchodzi	Wycięta poza linię lub niezbigowana	Przytnij jej boki o 1 mm i zbiguj zgięcie.
Wieczko wyskakuje	Klapki boczne zagięte na zewnątrz	Zagnij klapki do środka, pod kątem ostrym.
Szczelina w narożniku podstawy	Wklęsły narożnik nie docięty do końca	Dotnij dokładnie do wierzchołka.
Kokardka się rozwiązuje	Śliski sznurek	Zawiąż podwójną kokardkę albo użyj kordonka zamiast nici woskowanej.
Model jest krzywy	Końce ciągnięte nierówno	Rozluźnij pętlę i ciągnij oba końce jedną ręką, razem.

Wariant pudełko otwarte

Pudełko bez wieczka nie ma kłapek, więc górne krawędzie trzyma tylko pętla. Warto je dociągnąć mocniej i zawiązać podwójną kokardkę. W zamian pudełko może służyć jako pojemnik do porównywania objętości.

Test jakości

Postaw gotowy sześcian na stole i obróć go o 90°. Dobrze złożony model stoi równo na każdej ścianie poza tą z kokardką.

Matematyka modelu: sześcián

Wszystkie wartości policzono z wymiarów szablonów. Po wydrukowaniu w skali 100% można je sprawdzić linijką.

Wielkość	Szablon L	Szablon M	Pudełko otwarte
Krawędź a	52 mm	38 mm	55 mm
Przekątna ściany $a\sqrt{2}$	7,4 cm	5,4 cm	7,8 cm
Przekątna bryły $a\sqrt{3}$	9,0 cm	6,6 cm	9,5 cm
Pole powierzchni	162,2 cm ²	86,6 cm ²	151,2 cm ² (5 ścian)
Objętość	140,6 cm ³	54,9 cm ³	166,4 cm ³
Długość sznurka	60,1 cm	52,0 cm	61,9 cm
Skrócenie pętli	14,7 cm	10,7 cm	15,6 cm

Skala: jak zmienia się pole i objętość

Krawędź modelu M stanowi $k = 0,731$ krawędzi modelu L. Pole powierzchni zmienia się z kwadratem skali, a objętość z sześcianiem skali:

Skala długości k	Skala pola k^2	Skala objętości k^3
0,731	0,534	0,390

Model M ma więc około 53% powierzchni i tylko około 39% objętości modelu L, choć jego krawędź jest krótsza zaledwie o 27%.

Skąd bierze się skrócenie pętli

Na płaskiej siatce otwory sąsiednich ścian dzieli pusty narożnik. W sześcianie ściany stykają się pod kątem prostym, więc otwory oddalone o 5 mm od krawędzi spotykają się w odległości $5\sqrt{2} \approx 7,1$ mm. Różnica czterech takich odcinków to właśnie skrócenie pętli.

Obserwacje na modelu sześcianu

Gotowy model pozwala zobaczyć własności, które na rysunku są trudne do wyobrażenia.

Symetrie

Rodzaj	Liczba	Jak znaleźć na modelu
Płaszczyzny przez środki równoległych krawędzi	3	Dzieli sześcian na dwa prostopadłościany.
Płaszczyzny przez przeciwległe krawędzie	6	Dzieli sześcian na dwa graniastostupy trójkątne.
Osie obrotu o 90°	3	Przez środki przeciwległych ścian.
Osie obrotu o 120°	4	Przez przeciwległe wierzchołki (przekątne bryły).
Osie obrotu o 180°	6	Przez środki przeciwległych krawędzi.

Przekroje płaszczyzną

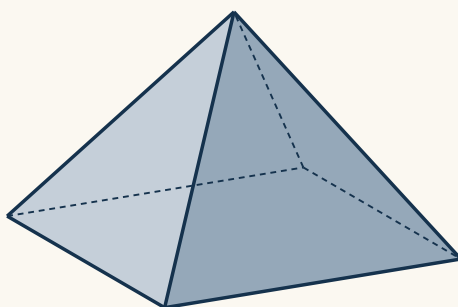
- Płaszczyzna równoległa do ściany daje kwadrat o boku a .
- Płaszczyzna przez dwie przeciwległe krawędzie daje prostokąt o bokach a i $a\sqrt{2}$.
- Płaszczyzna przez trzy wierzchołki sąsiadujące z jednym narożnikiem daje trójkąt równoboczny o boku $a\sqrt{2}$.
- Płaszczyzna prostopadła do przekątnej bryły, przechodząca przez jej środek, daje sześciokąt foremny.

Rzuty i cienie

Patrząc prostopadle na ścianę, widzimy kwadrat. Patrząc wzdłuż przekątnej bryły, czyli z wierzchołka na wierzchołek, widzimy sześciokąt foremny. Ten sam efekt daje cień modelu w świetle latarki ustawionej na przedłużeniu przekątnej.

Doświadczenie z latarką

W zaciemnionym pokoju oświetl model latarką z odległości około 1 m. Obracając sześcian, uzyskasz na ścianie cień kwadratu, prostokąta i sześciokąta. Która pozycja daje cień o największym polu?



ROZDZIAŁ 5

Ostrosłup czworokątny

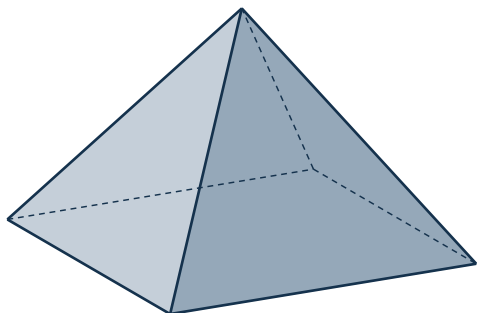


Kwadratowa podstawa i cztery trójkąty, które spotykają się w jednym wierzchołku. Najbardziej efektowna bryła zestawu: wszystkie ściany wstają jednocześnie.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Karta bryły
- ❖ Anatomia siatki
- ❖ Szablon L
- ❖ Szablon M
- ❖ Szablon: wariant wysoki
- ❖ Schemat nawlekania
- ❖ Montaż krok po kroku
- ❖ Problemy i rozwiązania
- ❖ Matematyka modelu
- ❖ Obserwacje na modelu

Karta bryły: ostrosłup czworokątny



Ostrosłup prawidłowy czworokątny ma w podstawie kwadrat, a jego ściany boczne są przystającymi trójkątami równoramiennymi. W szablonach L i M wszystkie krawędzie są równe, więc ściany boczne są trójkątami równobocznymi.

Ściany	5: kwadrat i 4 trójkąty
Krawędzie	8: 4 podstawy, 4 boczne
Wierzchołki	5
Płaszczyzny symetrii	4
Oś symetrii	1 (obróć o 90°)

Wzory i wartości dla szablonu L

Wielkość	Wzór	Szablon L (a = s = 62 mm)
Wysokość ściany bocznej h	$h = \sqrt{s^2 - a^2/4}$	5,4 cm
Wysokość bryły H	$H = \sqrt{s^2 - a^2/2}$	4,4 cm
Pole powierzchni	$P = a^2 + 2ah$	105,0 cm ²
Objętość	$V = a^2H / 3$	56,2 cm ³
Kąt ściany bocznej z podstawą	$\text{tg } \beta = H / (a/2)$	54,7°

Ostrosłup wokół nas

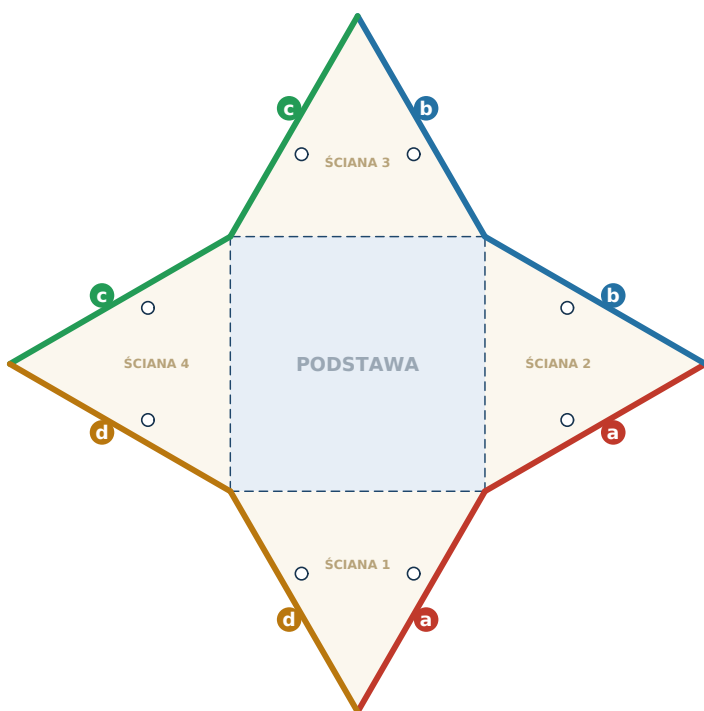
- Piramidy egipskie w Gizie to ostrosłupy prawidłowe czworokątne.
- Dachy wież i altan o kwadratowym rzucie.
- Szklana piramida przed Luwrem w Paryżu.
- Opakowania i stojaki ekspozycyjne w sklepach.

Ciekawostka

Dwa modele L złożone podstawami tworzą ośmiościan foremny, czyli bryłę o ośmiu trójkątnych ścianach. Wystarczy zrobić dwa egzemplarze i przyłożyć je do siebie kwadratami.

Anatomia siatki ostrosłupa czworokątnego

Siatka ma kształt czteroramiennej gwiazdy. Każda krawędź boczna ostrosłupa powstaje z dwóch krawędzi cięcia sąsiednich trójkątów.



Par a	Co się łączy	W bryle
a	ściana 1 + ściana 2	krawędź boczna
b	ściana 2 + ściana 3	krawędź boczna
c	ściana 3 + ściana 4	krawędź boczna
d	ściana 4 + ściana 1	krawędź boczna

Wszystkie cztery pary domyka pętla sznurka. Cztery wierzchołki trójkątów spotykają się w jednym punkcie: wierzchołku ostrosłupa.

Liczmy elementy siatki

Element	Liczba	Uwagi
Ściany	5	podstawa i cztery trójkąty
Zgięcia	4	krawędzie podstawy
Pary krawędzi cięcia	4	krawędzie boczne, litery a-d
Otwory	8	po dwa na każdym trójkącie
Kąt pustej szczeliny między trójkątami	150°	$360^\circ - 90^\circ - 60^\circ - 60^\circ$

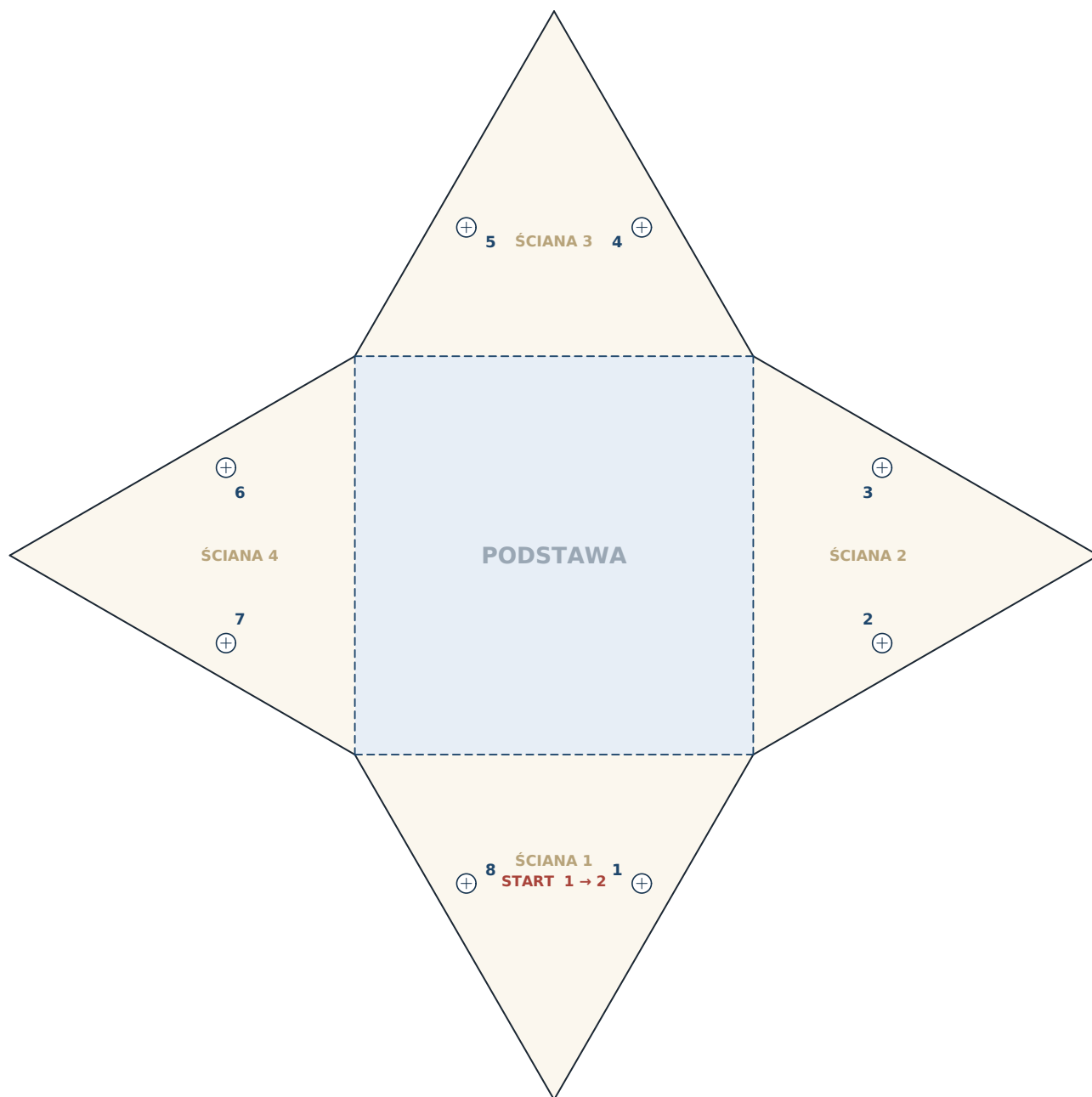
Dlaczego szczelina ma 150°

Wokół wierzchołka podstawy na płaskiej siatce leżą: kąt kwadratu 90° i dwa kąty trójkątów po 60° . Do pełnego kąta 360° brakuje 150° . W bryle ta luka znika, a suma kątów przy wierzchołku wynosi 210° .

Ostrosłup czworokątny, krawędź 62 mm

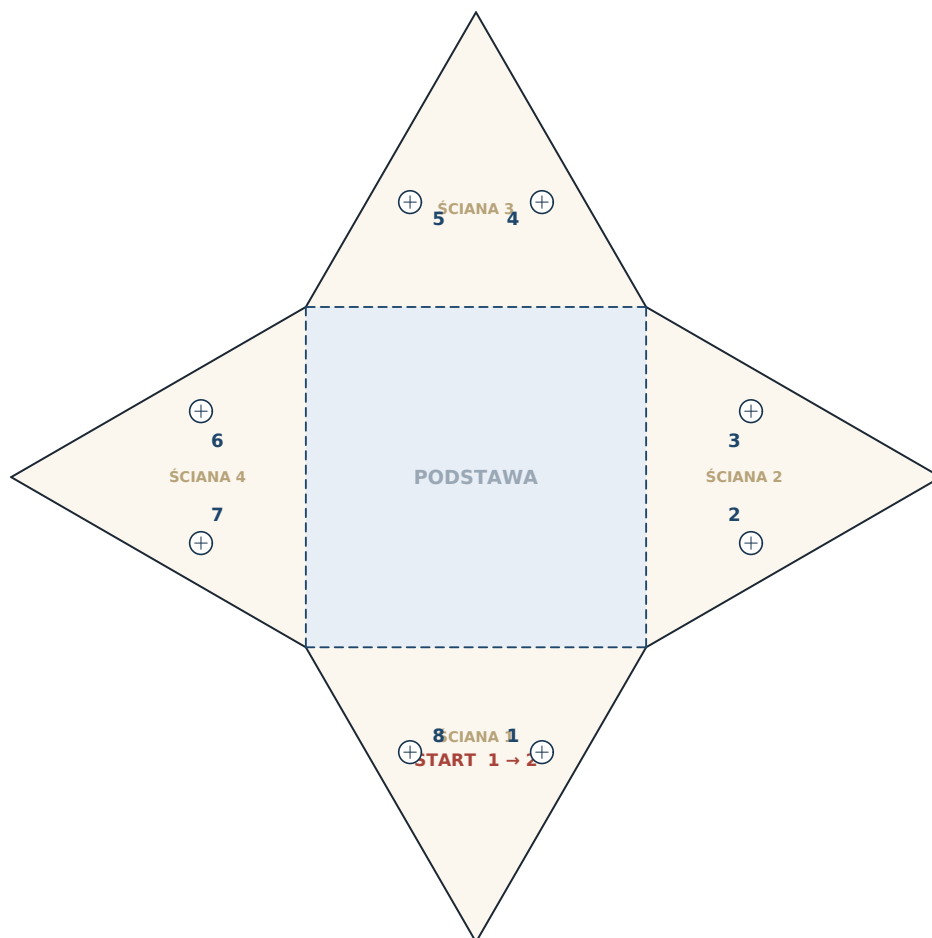
Sznurek: 59,3 cm · 8 otworów · ściany: trójkąty równoboczne · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



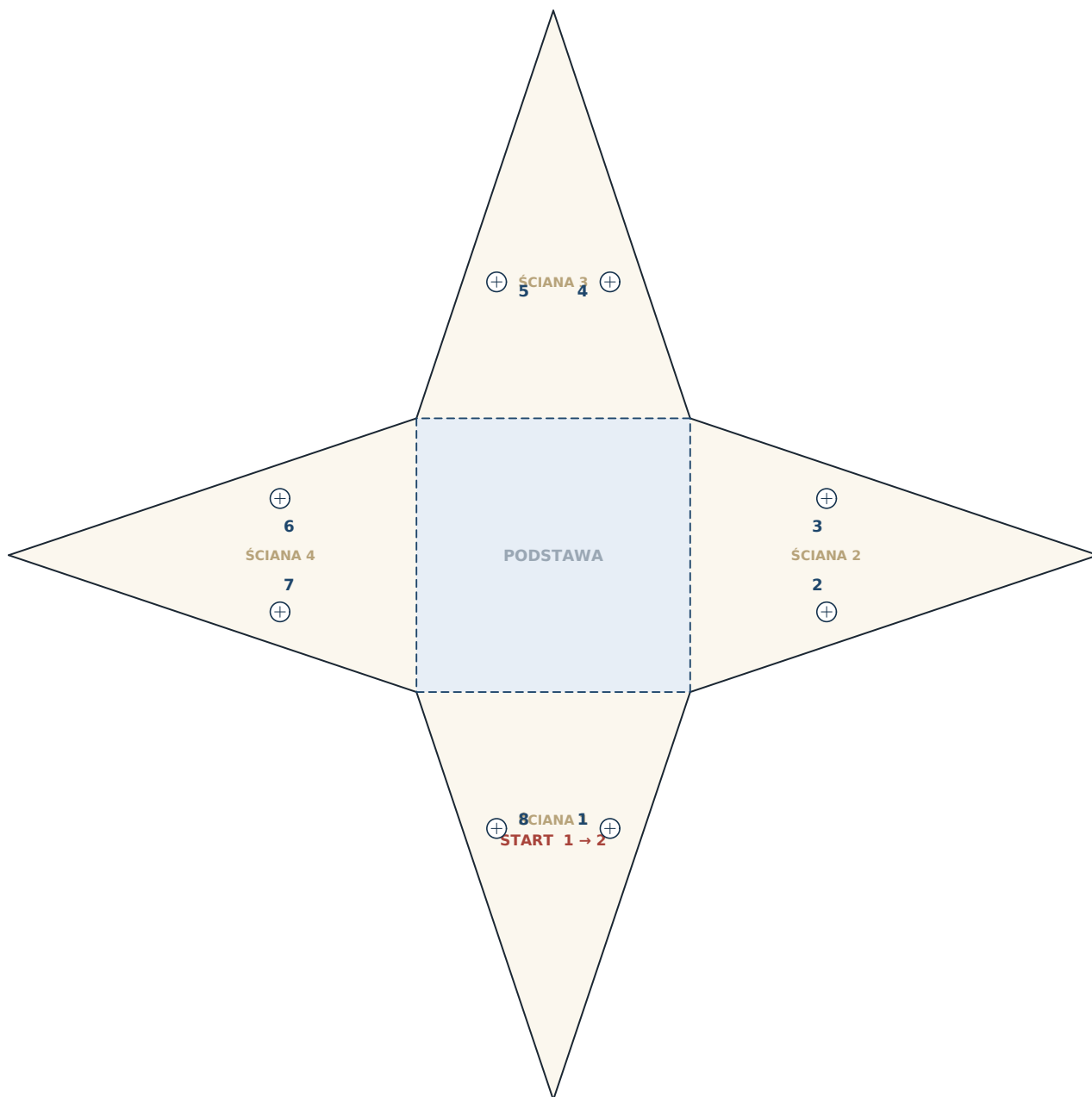
Ostrosłup czworokątny, krawędź 45 mmSznurek: 50,9 cm · 8 otworów · papier od 160 g/m² · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



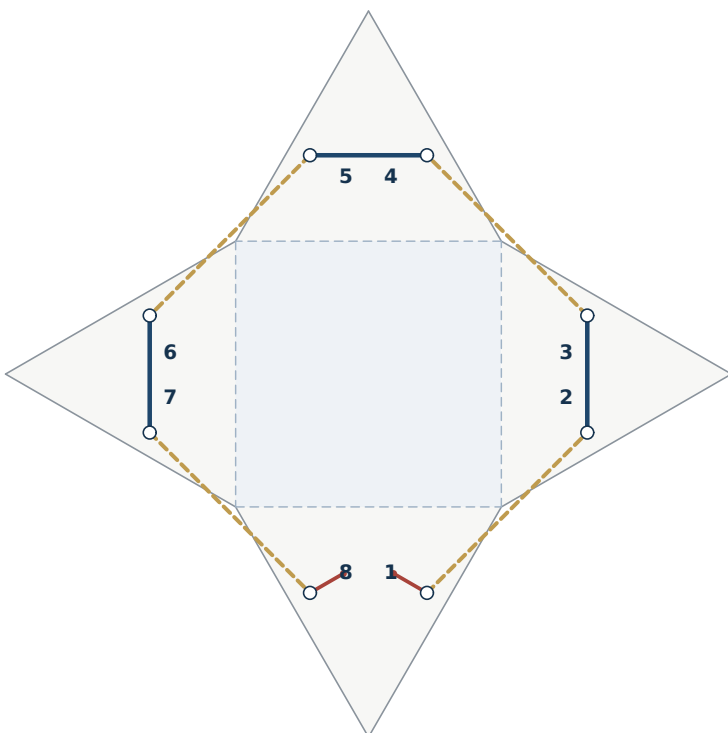
Ostrosłup wysoki, $a = 42 \text{ mm}$, $s = 66 \text{ mm}$ Sznurek: 54,0 cm · wysokość bryły 5,9 cm · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Schemat nawlekania: ostrosłup czworokątny

Pętla przechodzi przez osiem otworów rozmieszczonych na krawędziach trójkątów, mniej więcej w dwóch piątych ich długości licząc od podstawy.



Odcinek	Strona	Przebieg
start	wierzch	wejście w otwór 1 od strony nadruku
1 → 2	pod spodem	przez szczelinę: ściana 1 → ściana 2
2 → 3	na wierzchu	po ścianie: ściana 2
3 → 4	pod spodem	przez szczelinę: ściana 2 → ściana 3
4 → 5	na wierzchu	po ścianie: ściana 3
5 → 6	pod spodem	przez szczelinę: ściana 3 → ściana 4
6 → 7	na wierzchu	po ścianie: ściana 4
7 → 8	pod spodem	przez szczelinę: ściana 4 → ściana 1
koniec	wierzch	wyjście z otworu 8, oba końce na: ściana 1

Widok od strony nadruku. Końce sznurka wychodzą na ścianie 1.

Sprawdzenie przed ciągnięciem

- Złote odcinki pod spodem przecinają cztery puste szczeliny.
- Niebieskie odcinki na wierzchu leżą w poprzek trójkątów 2, 3 i 4.
- Na trójkącie 1 nie ma odcinka: stąd wychodzą oba końce.

Montaż ostrosłupa czworokątnego krok po kroku

Czas pracy: około 15 minut. Ostrosłup nie ma wieczka ani kłapek, więc całą pracę wykonuje pętla sznurka.

- 1 Wydruk i kontrola skali**
Zmierz pasek 20 mm w nagłówku szablonu.
- 2 Bigowanie**
Zbiguj cztery boki kwadratu podstawy przy linijce.
- 3 Wycinanie**
Wycinaj trójkąt po trójkącie. Wklęsłe narożniki przy podstawie docinaj do samego wierzchołka kwadratu.
- 4 Wstępne złożenie**
Zagnij każdy trójkąt od nadruku do około 60° i rozłóż.
- 5 Otwory**
Przebij osiem otworów. Sprawdź, czy otwory sąsiednich trójkątów leżą w tej samej odległości od podstawy.
- 6 Nawlekanie**
Nadrukiem do góry, od otworu 1 do 8. Pod spodem przez szczeliny, na wierzchu po trójkątach.
- 7 Odwrócenie**
Odwróć siatkę nadrukiem do stołu. Końce wyprowadź spod trójkąta 1.
- 8 Ciągnięcie**
Dociśnij środek podstawy i ciągnij końce do góry. Cztery trójkąty wstają razem i spotykają się w wierzchołku.
- 9 Kokardka**
Zawiąż kokardkę na trójkącie 1, tuż pod otworami.
- 10 Kontrola**
Wierzchołki trójkątów spotykają się w jednym punkcie, krawędzie boczne są domknięte na całej długości.

Ostrośłup czworokątny: problemy i rozwiązania

Ostrośłup składa się bardzo łatwo, ale jest wrażliwy na dokładność cięcia wierzchołków trójkątów.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Wierzchołki trójkątów rozjeżdżają się	Otwory sąsiednich ścian na różnej wysokości	Popraw otwór, który odbiega od krzyżyka, lub przebij nowy obok.
Szczelina przy wierzchołku ostrośłupa	Czubki trójkątów przycięte	Tnij czubki dokładnie w punkcie przecięcia linii.
Czubki nachodzą na siebie	Wycięte poza linią	Przytnij nadmiar, aż krawędzie zetkną się bez zakładki.
Jedna ściana wstaje później	Zgięcie tej ściany niezbigowane	Zagnij je ręcznie i pociągnij ponownie.
Bryła kiwa się na stole	Podstawa wygięta przy ciągnięciu	Ciągnij pionowo, dociskając środek podstawy.
Wariant wysoki się przewraca	Wysoko położony środek ciężkości przy małej podstawie	To naturalne: stawiaj go na podstawie, nie na krawędzi.

Dlaczego otwory są nisko

Otwory leżą w około dwóch piątych długości krawędzi bocznej. Gdyby były przy samym wierzchołku, pętla zamykałaby czubek, ale nie trzymałaby ścian przy podstawie. Gdyby były przy podstawie, siła ciągnięcia miałaby zbyt małe ramię i ściany wstawałyby opornie.

Test jakości

Spójrz na model z góry. Krawędzie boczne powinny tworzyć dwie proste przekątne kwadratu podstawy, przecinające się dokładnie w jego środku.

Matematyka modelu: ostrosłup czworokątny

Wartości obliczone dla wymiarów szablonów. W wariancie wysokim krawędź boczna s jest dłuższa od krawędzi podstawy a , więc ściany są trójkątami równoramiennymi.

Wielkość	Szablon L	Szablon M	Wariant wysoki
Krawędź podstawy a	62 mm	45 mm	42 mm
Krawędź boczna s	62 mm	45 mm	66 mm
Wysokość ściany h	5,4 cm	3,9 cm	6,3 cm
Wysokość bryły H	4,4 cm	3,2 cm	5,9 cm
Pole powierzchni	105,0 cm ²	55,3 cm ²	70,2 cm ²
Objętość	56,2 cm ³	21,5 cm ³	34,7 cm ³
Kąt ściany z podstawą	54,7°	54,7°	70,4°
Długość sznurka	59,3 cm	50,9 cm	54,0 cm
Skrócenie pętli	17,9 cm	12,4 cm	15,8 cm

Ostrosłup a sześcián

Ostrosłup o podstawie $a \times a$ i wysokości H ma objętość trzy razy mniejszą niż prostopadłościan o tej samej podstawie i wysokości. Dla modelu L: prostopadłościan $a \times a \times H$ miałby objętość 168,5 cm³, a ostrosłup ma 56,2 cm³.

Skala M do L wynosi $k = 0,726$. Pole modelu M to 53% pola modelu L, a objętość 38%.

Wysokość bez mierzenia w środku bryły

Wysokości H nie da się zmierzyć linijką wewnątrz zamkniętego modelu. Oblicza się ją z trójkąta prostokątnego: przeciwprostokątna to krawędź boczna s , jedna przyprostokątna to połowa przekątnej podstawy $a\sqrt{2} / 2$, a druga to szukana wysokość H .

Obserwacje na modelu ostrosłupa czworokątnego

Model pomaga zobaczyć, jak ukośne ściany łączą się z płaską podstawą i gdzie ukrywa się wysokość bryły.

Symetrie

Rodzaj	Liczba	Opis
Płaszczyzny przez wierzchołek i przekątną podstawy	2	Przecinają dwie przeciwległe krawędzie boczne.
Płaszczyzny przez wierzchołek i środki boków podstawy	2	Przecinają dwie przeciwległe ściany boczne na pół.
Oś obrotu	1	Pionowa, przez wierzchołek i środek podstawy. Obrót o 90° nie zmienia bryły.

Przekroje płaszczyzną

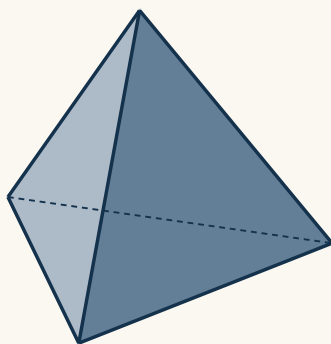
- Płaszczyzna równoległa do podstawy daje kwadrat. Im wyżej, tym mniejszy.
- Płaszczyzna przez wierzchołek i przekątną podstawy daje trójkąt równoramienny. W modelach L i M ma on boki s , s i $a\sqrt{2}$, więc jest trójkątem prostokątnym.
- Płaszczyzna przez wierzchołek i środki dwóch przeciwległych boków podstawy daje trójkąt o bokach h , h i a .

Rzuty

Kierunek patrzenia	Co widać
Z góry	Kwadrat z dwiema przekątnymi, przecinającymi się w rzucie wierzchołka.
Z przodu, prostopadle do ściany	Trójkąt równoramienny o podstawie a i wysokości H .
Z narożnika podstawy	Trójkąt o podstawie $a\sqrt{2}$ i wysokości H .

Doświadczenie z dwoma modelami

Zrób dwa modele L i złoż je podstawami. Powstały ośmiościan ma 6 wierzchołków, 12 krawędzi i 8 ścian. Sprawdź wzór Eulera: $6 - 12 + 8 = 2$.



ROZDZIAŁ 6

Ostrosłup trójkątny

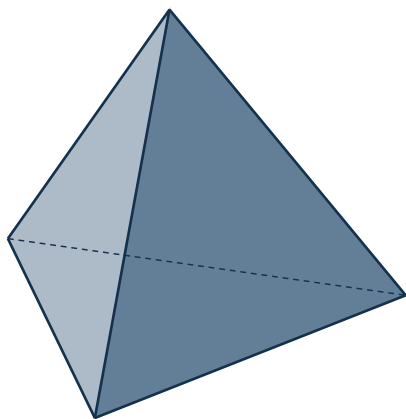


Najprostszy wielościan: cztery ściany, sześć krawędzi, cztery wierzchołki. Idealny na pierwszy model, bo składa się w kilka sekund.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Karta bryły
- ❖ Anatomia siatki
- ❖ Szablon L
- ❖ Szablon M
- ❖ Szablon: wariant wysoki
- ❖ Schemat nawlekania
- ❖ Montaż krok po kroku
- ❖ Problemy i rozwiązania
- ❖ Matematyka modelu
- ❖ Obserwacje na modelu

Karta bryły: ostrosłup trójkątny



Ostrosłup trójkątny ma w podstawie trójkąt, a jego trzy ściany boczne spotykają się w jednym wierzchołku. Gdy wszystkie cztery ściany są trójkątami równobocznymi, bryłę nazywamy czworościanem foremnym. Takie są szablony L i M.

Ściany	4 trójkąty
Krawędzie	6
Wierzchołki	4
Płaszczyzny symetrii	6 (czworościan foremny)
Kąt między ścianami	70,53°

Wzory i wartości dla szablonu L

Wielkość	Wzór	Szablon L (a = 84 mm)
Wysokość ściany	$a\sqrt{3} / 2$	7,3 cm
Wysokość bryły H	$a\sqrt{6} / 3$	6,9 cm
Pole powierzchni	$a^2\sqrt{3}$	122,2 cm ²
Objętość	$a^3\sqrt{2} / 12$	69,9 cm ³

Czworościan wokół nas

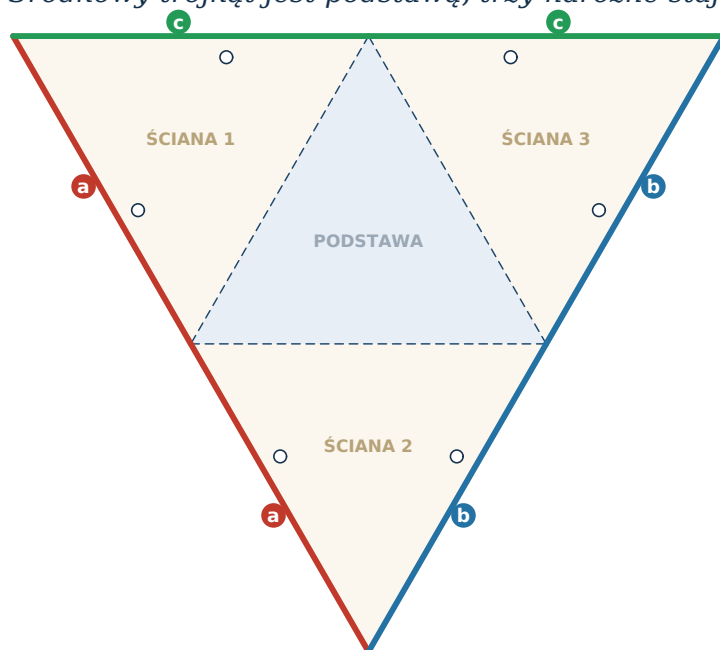
- Kostki do gier fabularnych z czterema ściankami (k4).
- Częsteczka metanu: atomy wodoru leżą w wierzchołkach czworościanu.
- Opakowania napojów w kształcie czworościanu.
- Falochrony betonowe o czterech ramionach wzorowane na geometrii czworościanu.

Ciekawostka

Czworościan to jedyny wielościan, w którym każde dwa wierzchołki łączy krawędź i każde dwie ściany mają wspólną krawędź. Sprawdź na modelu: nie da się wskazać dwóch wierzchołków, które nie są sąsiadami.

Anatomia siatki ostrosłupa trójkątnego

Siatka czworościanu foremnego to duży trójkąt równoboczny podzielony na cztery mniejsze. Środkowy trójkąt jest podstawą, trzy narożne stają się ścianami bocznymi.



Par a	Co się łączy	W bryle
a	ściana 1 + ściana 2	krawędź boczna
b	ściana 2 + ściana 3	krawędź boczna
c	ściana 3 + ściana 1	krawędź boczna

Trzy zgięcia to krawędzie podstawy, trzy pary liter to krawędzie boczne. Razem sześć krawędzi.

Liczmy elementy siatki

Element	Liczba	Uwagi
Ściany	4	podstawa i trzy ściany boczne
Zgięcia	3	boki środkowego trójkąta
Pary krawędzi cięcia	3	litery a-c
Otwory	6	najmniej ze wszystkich brył
Kąt szczeliny przy wierzchołku podstawy	180°	$360^\circ - 3 \cdot 60^\circ$

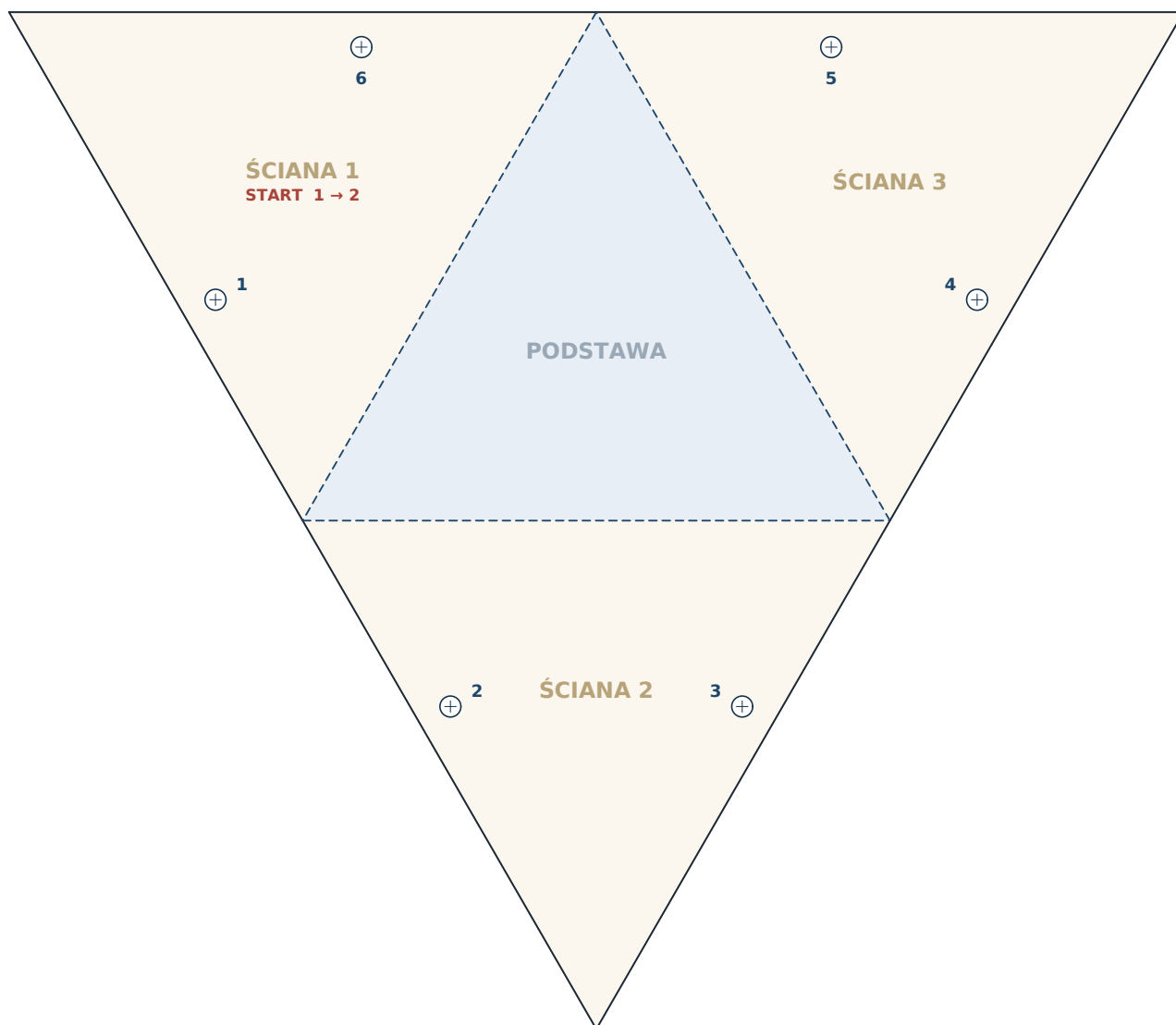
Druga siatka czworościanu

Czworościan ma tylko dwie różne siatki: duży trójkąt oraz pas czterech trójkątów ułożonych na przemian. Do techniki sznurka nadaje się tylko pierwsza, bo w pasie żaden trójkąt nie sąsiaduje z trzema pozostałymi.

Czworościan foremny, krawędź 84 mm

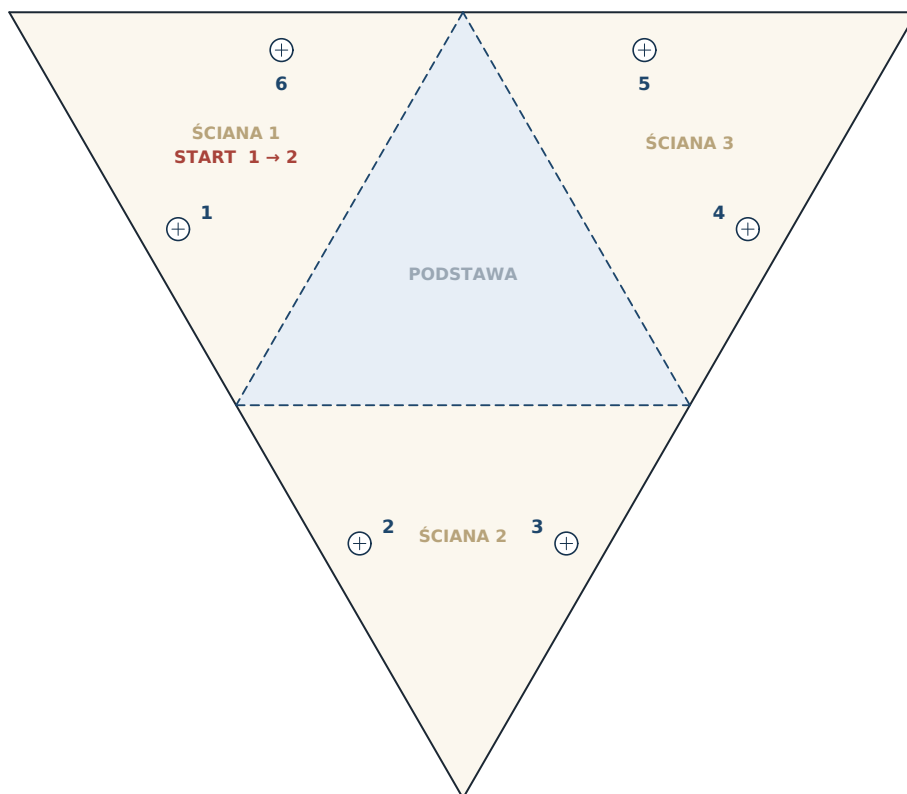
Sznurek: 58,5 cm · 6 otworów · najlepszy na pierwszy model · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



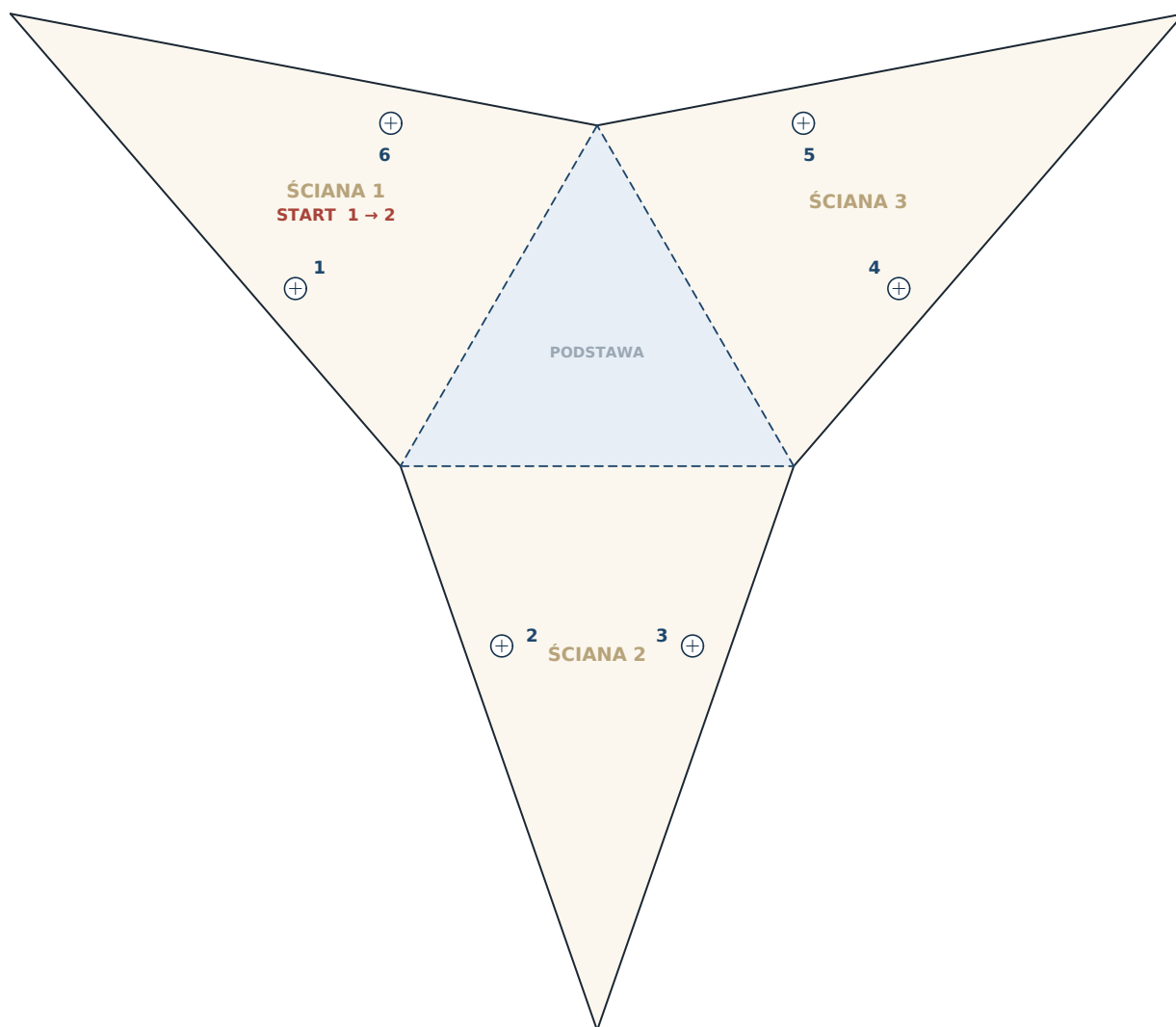
Czworościan foremny, krawędź 60 mmSznurek: 49,9 cm · 6 otworów · papier od 160 g/m² · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



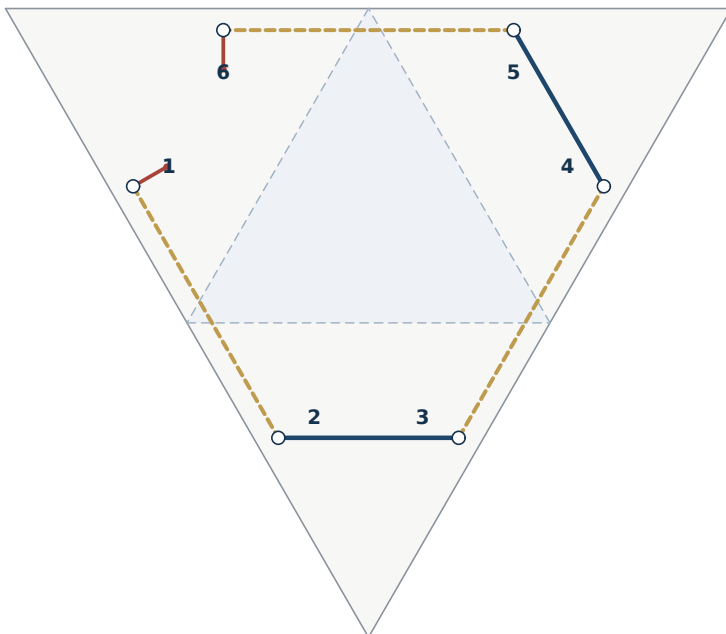
Ostrosłup trójkątny wysoki, $a = 54 \text{ mm}$, $s = 82 \text{ mm}$ Sznurek: 52,2 cm · wysokość bryły 7,6 cm · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Schemat nawlekania: ostrosłup trójkątny

Najkrótsza pętla w zestawie: sześć otworów, dwa odcinki na wierzchu i trzy pod spodem.



Odcinek	Strona	Przebieg
start	wierzch	wejście w otwór 1 od strony nadruku
1 → 2	pod spodem	przez szczelinę: ściana 1 → ściana 2
2 → 3	na wierzchu	po ścianie: ściana 2
3 → 4	pod spodem	przez szczelinę: ściana 2 → ściana 3
4 → 5	na wierzchu	po ścianie: ściana 3
5 → 6	pod spodem	przez szczelinę: ściana 3 → ściana 1
koniec	wierzch	wyjście z otworu 6, oba końce na: ściana 1

Widok od strony nadruku. Końce sznurka wychodzą na ścianie 1.

Na płaskiej siatce otwory 1 i 2 (oraz 3 i 4, 5 i 6) leżą po obu stronach wierzchołka podstawy, na jednej prostej. Odcinek pod spodem biegnie więc pod papierem, przez róg podstawy. W gotowej bryle te dwa otwory znajdują się naprzeciw siebie, po dwóch stronach krawędzi bocznej.

Model pokazowy

Czworościan L najlepiej nadaje się do pokazu techniki. Jest duży, ma mało otworów i składa się po jednym pociągnięciu. Warto mieć jeden gotowy, nawleczony egzemplarz przed pierwszymi zajęciami.

Montaż ostrosłupa trójkątnego krok po kroku

Czas pracy: około 10 minut. To najlepszy model do nauki techniki A.

- 1 Wydruk i kontrola skali**
Zmierz pasek 20 mm w nagłówku szablonu.
- 2 Bigowanie**
Zbignij trzy boki środkowego trójkąta. Linie biegną od wierzchołka do wierzchołka dużego trójkąta.
- 3 Wycinanie**
Wytnij duży trójkąt po trzech prostych liniach. To najprostsze cięcie w zestawie.
- 4 Wstępne złożenie**
Zagnij każdy narożny trójkąt od nadruku do około 110° i rozłóż.
- 5 Otwory**
Przebij sześć otworów, po dwa na każdej ścianie bocznej.
- 6 Nawlekanie**
Nadrukiem do góry: 1 do 2 pod spodem, 2 do 3 na wierzchu, i tak dalej do otworu 6.
- 7 Odwrócenie i ciągnięcie**
Odwróć siatkę nadrukiem do stołu, dociśnij podstawę i ciągnij końce do góry.
- 8 Kokardka**
Zawiąż kokardkę na ścianie 1. Trzy wierzchołki narożnych trójkątów spotkały się w jednym punkcie.
- 9 Kontrola**
Postaw bryłę kolejno na każdej ścianie. Dobrze złożony czworościan stoi stabilnie na każdej z nich.

Dlaczego zgięcie do 110°

Kąt między podstawą a ścianą boczną w czworościanie foremnym wynosi około $70,5^\circ$. Ściana obraca się więc od położenia płaskiego o $180^\circ - 70,5^\circ = 109,5^\circ$. Wstępne zgięcie do tej wartości sprawia, że papier sam układa się w docelowy kąt.

Ostrośłup trójkątny: problemy i rozwiązania

Czworościan ma najmniej elementów, więc problemy są rzadkie. Jeśli się pojawiają, dotyczą zwykle wierzchołka, w którym spotykają się trzy czubki.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Czubki nie spotykają się w jednym punkcie	Nierówno przebite otwory	Otwory 1-2, 3-4 i 5-6 muszą leżeć w tej samej odległości od wierzchołków podstawy.
Krawędź boczna otwiera się przy wierzchołku	Pętla leży za nisko względem długich ścian	W wariancie wysokim dociągnij pętlę mocniej i zawiąż podwójną kokardkę.
Model zapada się pod naciskiem	Zbyt cienki papier przy rozmiarze L	Użyj papieru 200-220 g/m ² .
Końce sznurka płaczą się	Za długie końce	Skróć końce do 10 cm po zawiązaniu kokardki.
Nadruk w środku bryły	Ciągnięcie bez odwrócenia siatki	Rozłóż, odwróć nadrukiem do stołu, pociągnij ponownie.
Wariant wysoki przewraca się	Wąska podstawa i wysoki wierzchołek	Stawiaj go na podstawie, na równym podłożu.

Test jakości

Złożony czworościan foremny wygląda identycznie niezależnie od tego, na której ścianie stoi. Jeśli jedna pozycja wyraźnie odstaje, któraś krawędź nie jest domknięta.

Matematyka modelu: ostrosłup trójkątny

Dla szablonów L i M wszystkie krawędzie są równe. W wariantcie wysokim krawędzie boczne są dłuższe od krawędzi podstawy a .

Wielkość	Szablon L	Szablon M	Wariant wysoki
Krawędź podstawy a	84 mm	60 mm	54 mm
Krawędź boczna s	84 mm	60 mm	82 mm
Wysokość ściany bocznej	7,3 cm	5,2 cm	7,7 cm
Wysokość bryły H	6,9 cm	4,9 cm	7,6 cm
Pole powierzchni	122,2 cm ²	62,4 cm ²	75,3 cm ²
Objętość	69,9 cm ³	25,5 cm ³	31,9 cm ³
Długość sznurka	58,5 cm	49,9 cm	52,2 cm
Skrócenie pętli	18,4 cm	12,7 cm	15,4 cm

Czworościan w sześciacie

Czworościan foremny można wpisać w sześciatę: jego krawędzie są przekątnymi czterech ścian sześciatu. Sześciatę o krawędzi b zawiera czworościan o krawędzi $b\sqrt{2}$ i objętości równej jednej trzeciej objętości sześciatu. Dla czworościanu L potrzebny byłby sześciatę o krawędzi 5,9 cm.

Skala M do L wynosi $k = 0,714$. Pole modelu M to 51% pola modelu L, a objętość 36%.

Sprawdzenie pola na siatce

Siatka czworościanu foremnego to trójkąt równoboczny o boku $2a$. Jego pole wynosi $(2a)^2\sqrt{3} / 4 = a^2\sqrt{3}$, czyli dokładnie tyle, ile pole powierzchni czworościanu. Siatka nie ma żadnych kłapek ani strat.

Obserwacje na modelu ostrosłupa trójkątnego

Czworościan foremny kryje kilka zaskakujących własności, które najłatwiej odkryć, obracając model w dłoniach.

Symetrie

Rodzaj	Liczba	Opis
Płaszczyzny symetrii	6	Każda zawiera jedną krawędź i środek krawędzi przeciwległej.
Osie obrotu o 120°	4	Przez wierzchołek i środek przeciwległej ściany.
Osie obrotu o 180°	3	Przez środki dwóch przeciwległych, skośnych krawędzi.

Przekroje płaszczyzną

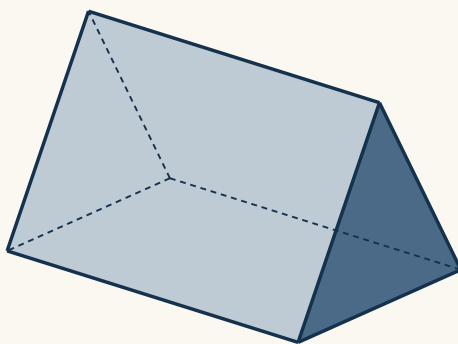
- Płaszczyzna równoległa do ściany daje trójkąt równoboczny.
- Płaszczyzna przechodząca przez środki czterech krawędzi daje kwadrat o boku $a/2$. Na modelu L ma on bok 4,2 cm.
- Płaszczyzna przez krawędź i środek krawędzi przeciwległej daje trójkąt równoramienny o bokach a , h i h .

Rzuty i cienie

Z góry, nad wierzchołkiem, widać trójkąt równoboczny podzielony na trzy części. Gdy spojrzysz wzdłuż prostej łączącej środki dwóch przeciwległych krawędzi, zobaczysz kwadrat z dwiema przekątnymi. Trójkątna bryła może więc rzucać kwadratowy cień.

Doświadczenie z latarką

Trzymaj czworościan za dwie przeciwległe krawędzie i obracaj go w świetle latarki. Szukaj położenia, w którym cień jest kwadratem. To jeden z najciekawszych pokazów w całym zestawie.



ROZDZIAŁ 7

Graniastosłup trójkątny

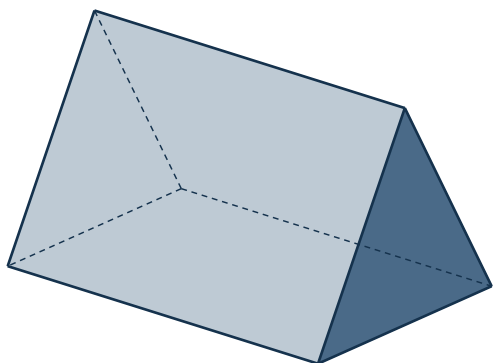


Dwie trójkątne podstawy i trzy prostokąty. Model leży na jednej ze ścian bocznych, a pętla stawia cztery pozostałe ściany naraz, bez wieczka i bez kłapek.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Karta bryły
- ❖ Anatomia siatki
- ❖ Szablon L
- ❖ Szablon M
- ❖ Szablon: wariant dach
- ❖ Schemat nawlekania
- ❖ Montaż krok po kroku
- ❖ Problemy i rozwiązania
- ❖ Matematyka modelu
- ❖ Obserwacje na modelu

Karta bryły: graniastosłup trójkątny



Graniastosłup trójkątny ma dwie przystające podstawy w kształcie trójkąta, leżące w równoległych płaszczyznach, oraz trzy prostokątne ściany boczne. W szablonach L i M podstawy są trójkątami równobocznymi, więc bryła jest graniastosłupem prawidłowym.

Ściany	5: 2 trójkąty, 3 prostokąty
Krawędzie	9: 6 podstaw, 3 boczne
Wierzchołki	6
Płaszczyzny symetrii	4 (graniastosłup prawidłowy)

Wzory i wartości dla szablonu L

Wielkość	Wzór	Szablon L (a = 54 mm, L = 80 mm)
Pole podstawy	$a^2\sqrt{3} / 4$	12,6 cm ²
Pole powierzchni bocznej	$3aL$	129,6 cm ²
Pole powierzchni całkowitej	$a^2\sqrt{3} / 2 + 3aL$	154,9 cm ²
Objętość	$a^2\sqrt{3} \cdot L / 4$	101,0 cm ³

Uwaga na słowo podstawa

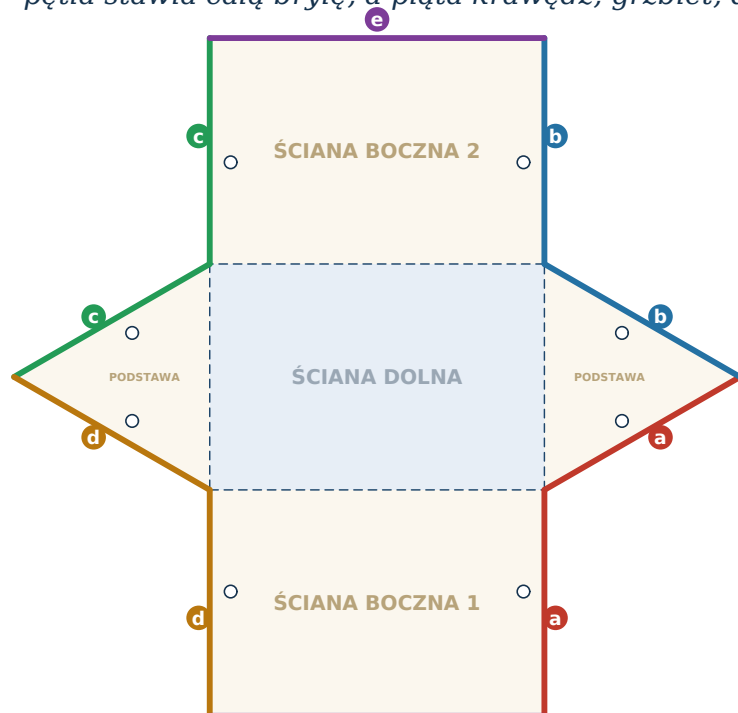
Model leży na prostokącie, ale podstawami graniastosłupa są trójkąty. Podstawa w sensie matematycznym nie musi być ścianą, na której bryła stoi. Dlatego środkowy prostokąt siatki ma napis ŚCIANA DOLNA, a trójkąty napis PODSTAWA.

Graniastosłup wokół nas

- Namiot turystyczny i dach dwuspadowy.
- Szklany pryzmat rozszczepiający światło na tęczę.
- Trójkątne opakowania czekolady i ciastek.
- Klin do drzwi, podpórka pod koło, linijka trójgraniasta.

Anatomia siatki graniastosłupa trójkątnego

Wszystkie cztery ściany wokół ściany dolnej dotykają jej krawędziami. Dzięki temu jedna pętla stawia całą bryłę, a piąta krawędź, grzbiet, domyka się sama.



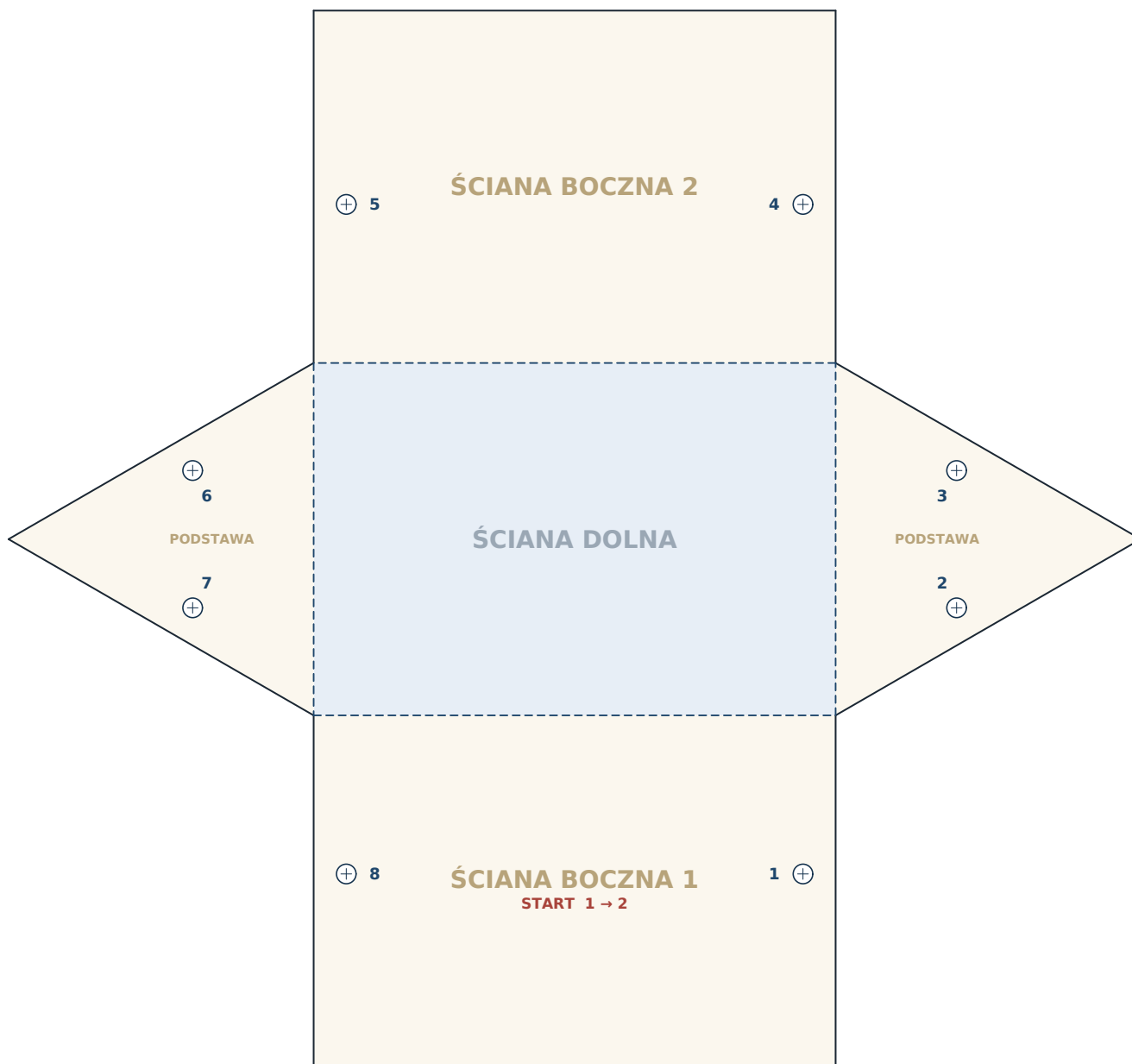
Par a	Co się łączy	Jak
a	ściana boczna 1 + podstawa prawa	pętla
b	podstawa prawa + ściana boczna 2	pętla
c	ściana boczna 2 + podstawa lewa	pętla
d	podstawa lewa + ściana boczna 1	pętla
e	ściana boczna 1 + ściana boczna 2	grzbiet, sam

Para e to górna krawędź, czyli grzbiet dachu. Nie ma przy niej otworów: dwie ściany boczne spotykają się, gdy trójkątne podstawy stoją pionowo i wyznaczają ich nachylenie.

Element	Liczba	Uwagi
Ściany	5	ściana dolna, dwie ściany boczne, dwie podstawy
Zgięcia	4	krawędzie ściany dolnej
Pary krawędzi cięcia	5	litery a-e, razem $4 + 5 = 9$ krawędzi
Otwory	8	po dwa na każdej z czterech ścian wokół ściany dolnej

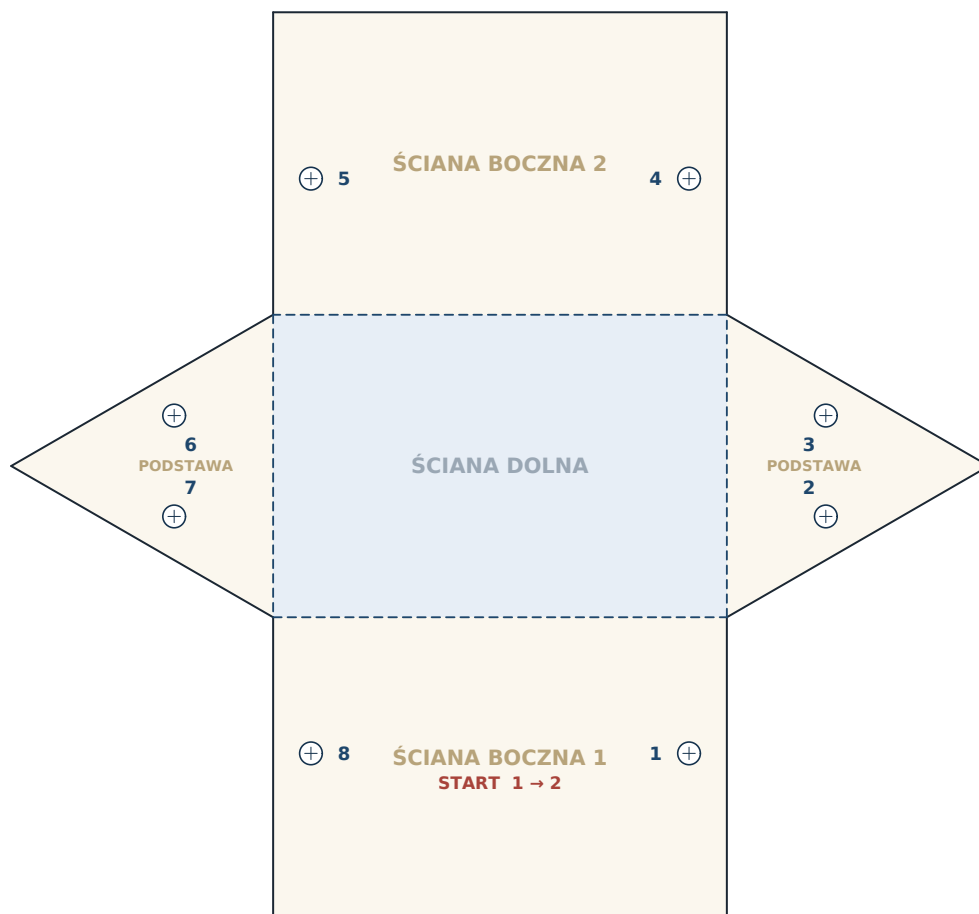
Graniastosłup trójkątny, $a = 54 \text{ mm}$, $L = 80 \text{ mm}$ Sznurek: 60,0 cm · 8 otworów · bez kłapek · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



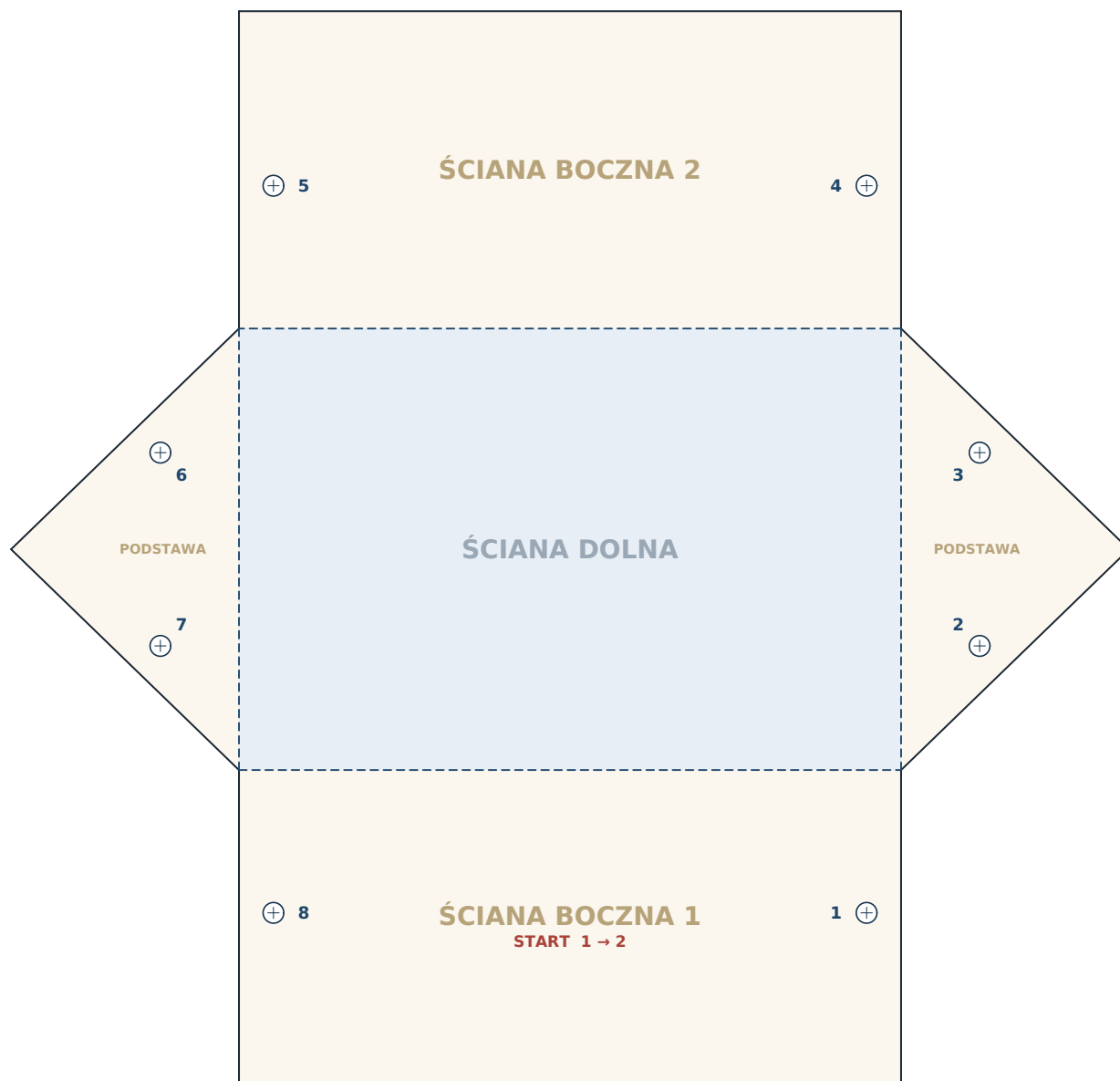
Graniastosłup trójkątny, $a = 40 \text{ mm}$, $L = 60 \text{ mm}$ Sznurek: 52,1 cm · 8 otworów · papier od 160 g/m² · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



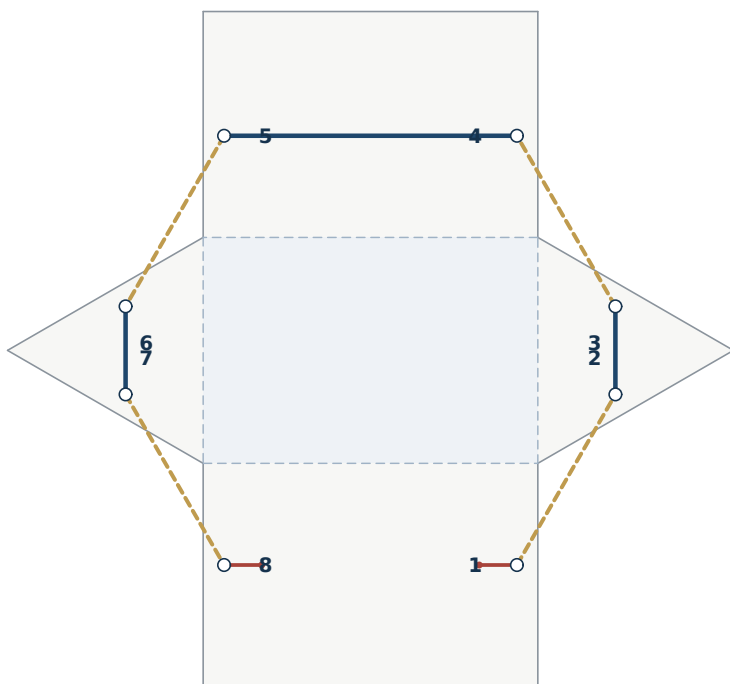
Wariant dach: podstawa 64-46-46 mm, L = 96 mmSznurek: 61,0 cm · podstawy: trójkąty równoramienne · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Schemat nawlekania: graniastosłup trójkątny

Pętla okręży ścianę dolną. Na prostokątach biegnie wzdłuż, na trójkątach w poprzek.



Widok od strony nadruku. Końce wychodzą na ścianie bocznej 1.

Odcinek	Strona	Przebieg
start	wierzch	wejście w otwór 1 od strony nadruku
1 → 2	pod spodem	przez szczelinę: ściana boczna 1 → podstawa prawa
2 → 3	na wierzchu	po ścianie: podstawa prawa
3 → 4	pod spodem	przez szczelinę: podstawa prawa → ściana boczna 2
4 → 5	na wierzchu	po ścianie: ściana boczna 2
5 → 6	pod spodem	przez szczelinę: ściana boczna 2 → podstawa lewa
6 → 7	na wierzchu	po ścianie: podstawa lewa
7 → 8	pod spodem	przez szczelinę: podstawa lewa → ściana boczna 1
koniec	wierzch	wyjście z otworu 8, oba końce na: ściana boczna 1

Na co uważać

- Otwory prostokątów i trójkątów sąsiadujących w narożniku leżą w tej samej odległości od ściany dolnej.
- Odcinek na ścianie bocznej 2 jest długi, bo biegnie przez całą długość prostokąta.
- Pod spodem cztery odcinki przecinają puste narożniki między prostokątami a trójkątami.

Montaż graniastosłupa trójkątnego krok po kroku

Czas pracy: około 15 minut. Ten model stawia pięć ścian jedną pętlą i nie wymaga żadnych kłapek.

- 1 Wydruk i kontrola skali**
Zmierz pasek 20 mm w nagłówku szablonu.
- 2 Bigowanie**
Zbiguj cztery boki ściany dolnej.
- 3 Wycinanie**
Wkleśłe narożniki między prostokątami a trójkątami docinaj dokładnie do wierzchołków ściany dolnej.
- 4 Wstępne złożenie**
Trójkąty zagnij od nadruku do 90° , prostokąty do około 120° , i rozłóż.
- 5 Otwory**
Przebij osiem otworów na krzyżykach.
- 6 Nawlekanie**
Nadrukiem do góry, od otworu 1 do 8, według schematu.
- 7 Odwrócenie i ciągnięcie**
Odwróć siatkę nadrukiem do stołu, dociśnij ścianę dolną i ciągnij końce do góry. Trójkąty stają pionowo, prostokąty pochylają się ku sobie.
- 8 Domknięcie grzbietu**
Ostatnie centymetry ciągnij powoli. Grzbiet domyka się, gdy obie ściany boczne oprą się o trójkąty.
- 9 Kokardka**
Zawiąż kokardkę na ścianie bocznej 1.
- 10 Kontrola**
Grzbiet jest prosty, trójkąty stoją pionowo, a model nie kołysze się na ścianie dolnej.

Kąty zgięć

Trójkąt podstawy jest prostopadły do ściany dolnej, więc obraca się o 90° . Ściana boczna tworzy ze ścianą dolną kąt 60° (kąt trójkąta równobocznego), więc obraca się o $180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$.

Graniastosłup trójkątny: problemy i rozwiązania

Najczęstszym problemem jest grzbiet, który nie domyka się równo na całej długości.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Grzbiet otwarty pośrodku	Długie prostokąty lekko się wybrzuszą	Użyj papieru 200-220 g/m ² albo modelu M.
Grzbiet otwarty na jednym końcu	Trójkąt pochylony	Popraw zgięcie trójkąta do 90°, dociągnij pętlę.
Prostokąty zachodzą na siebie na grzbiecie	Cięcie poza linią wzdłuż długich krawędzi	Przytnij nadmiar.
Trójkąt wpada do środka	Zgięcie trójkąta zbyt słabe	Zbiguj mocniej i zagnij wstępnie do 90°.
Pętla zsuwa się po prostokątach	Za luźna pętla	Dociągnij i zawiąż podwójną kokardkę.
Wariant dach płaski u góry	To zamierzone: kąt przy grzbiecie wynosi około 88°	Porównaj go z modelem L (60°).

Dwa graniastosłupy, jeden prostopadłościan

Dwa modele L ustawione obok siebie, drugi obrócony grzbietem w dół, tworzą graniastosłup o podstawie rombu, a nie prostopadłościan, bo kąty 60° i 120° nie są proste. Dwa graniastosłupy o podstawie trójkąta prostokątnego równoramiennego utworzyłyby już prostopadłościan. To dobry temat do rozmowy o kątach.

Matematyka modelu: graniastosłup trójkątny

W wariacie dach podstawą jest trójkąt równoramienny o podstawie b i ramionach c . Wzory ogólne: pole trójkąta $b \cdot h / 2$, pole boczne $L \cdot (b + 2c)$.

Wielkość	Szablon L	Szablon M	Wariant dach
Boki podstawy	54-54-54 mm	40-40-40 mm	64-46-46 mm
Długość L	80 mm	60 mm	96 mm
Wysokość trójkąta	4,7 cm	3,5 cm	3,3 cm
Kąt przy grzbiecie	60,0°	60,0°	88,2°
Pole podstawy	12,6 cm ²	6,9 cm ²	10,6 cm ²
Pole powierzchni	154,9 cm ²	85,9 cm ²	170,9 cm ²
Objętość	101,0 cm ³	41,6 cm ³	101,5 cm ³
Długość sznurka	60,0 cm	52,1 cm	61,0 cm
Skrócenie pętli	16,0 cm	11,6 cm	14,0 cm

Skala M do L wynosi $k = 0,741$ dla wszystkich wymiarów. Pole modelu M to 55% pola modelu L, a objętość 41%.

Graniastosłup a ostrosłup

Ostrosłup o tej samej podstawie i tej samej wysokości ma objętość trzy razy mniejszą. Graniastosłup trójkątny można rozciąć na trzy ostrosłupy trójkątne o równych objętościach: to klasyczny dowód wzoru $V = P \cdot H / 3$.

Obserwacje na modelu graniastosłupa trójkątnego

Model leżący na boku pokazuje, że kształt bryły nie zależy od tego, jak ją ustawimy, ale nazwy ścian już tak.

Symetrie graniastosłupa prawidłowego

Rodzaj	Liczba	Opis
Płaszczyzny przez krawędź boczną i środek przeciwległej ściany	3	Dzieli bryłę na dwie połowki lustrzane.
Płaszczyzna równoległa do podstaw, w połowie długości	1	Zamienia miejscami dwie podstawy.
Oś obrotu o 120°	1	Przez środki obu podstaw.

Przekroje płaszczyzną

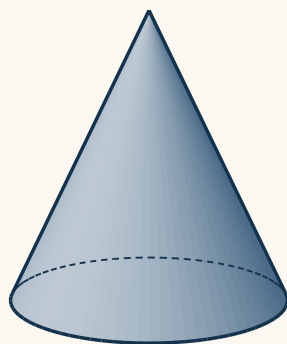
- Płaszczyzna równoległa do podstaw daje trójkąt przystający do podstawy.
- Płaszczyzna równoległa do krawędzi bocznych daje prostokąt.
- Płaszczyzna ukośna przecinająca wszystkie trzy krawędzie boczne daje trójkąt większy od podstawy.
- Płaszczyzna przecinająca dwie podstawy i ściany boczne może dać trapez.

Rzuty

Kierunek patrzenia	Co widać
Wzdłuż krawędzi bocznych	Trójkąt, czyli dokładnie podstawa.
Z góry, na leżący model	Prostokąt przecięty wzdłuż linią grzbietu.
Z boku, poziomo, prostopadle do grzbietu	Prostokąt o bokach L i wysokości trójkąta.

Doświadczenie z latarką

Oświetl model wzdłuż grzbietu: cień będzie trójkątem. Obróć go o 90° : cień stanie się prostokątem. Jedna bryła, dwa zupełnie różne cienie.



ROZDZIAŁ 8

Stożek ze szwem

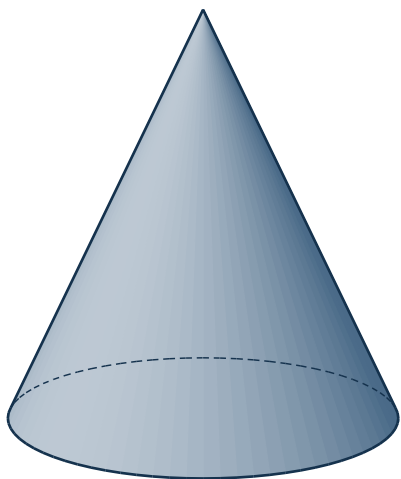


Wycinek koła zwiija się w powierzchnię boczną, a sznurek zszywa ją wzdłuż tworzącej. Podstawę zamyka koło z ząbkami.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Karta bryły
- ❖ Anatomia siatki
- ❖ Szablon L
- ❖ Szablon M
- ❖ Szablon: wariant niski
- ❖ Schemat sznurowania
- ❖ Montaż krok po kroku
- ❖ Problemy i rozwiązania
- ❖ Matematyka modelu
- ❖ Obserwacje na modelu

Karta bryły: stożek



Stożek powstaje z obrotu trójkąta prostokątnego wokół jednej z przyprostokątnych. Ma jedną podstawę w kształcie koła, powierzchnię boczną i jeden wierzchołek.

Podstawa	koło o promieniu r
Powierzchnia boczna	zakrzywiona, zwiija się z wycinka koła
Wierzchołek	1
Tworząca l	odcinek od wierzchołka do okręgu podstawy
Oś symetrii	1 (dowolny obrót)

Wzory i wartości dla szablonu L

Wielkość	Wzór	Szablon L ($r = 35 \text{ mm}$, $l = 95 \text{ mm}$)
Wysokość H	$H = \sqrt{l^2 - r^2}$	8,8 cm
Kąt wycinka w siatce	$\alpha = 360^\circ \cdot r / l$	132,6°
Pole powierzchni bocznej	$\pi r l$	104,5 cm ²
Pole powierzchni całkowitej	$\pi r^2 + \pi r l$	142,9 cm ²
Objętość	$\pi r^2 H / 3$	113,3 cm ³

Stożek wokół nas

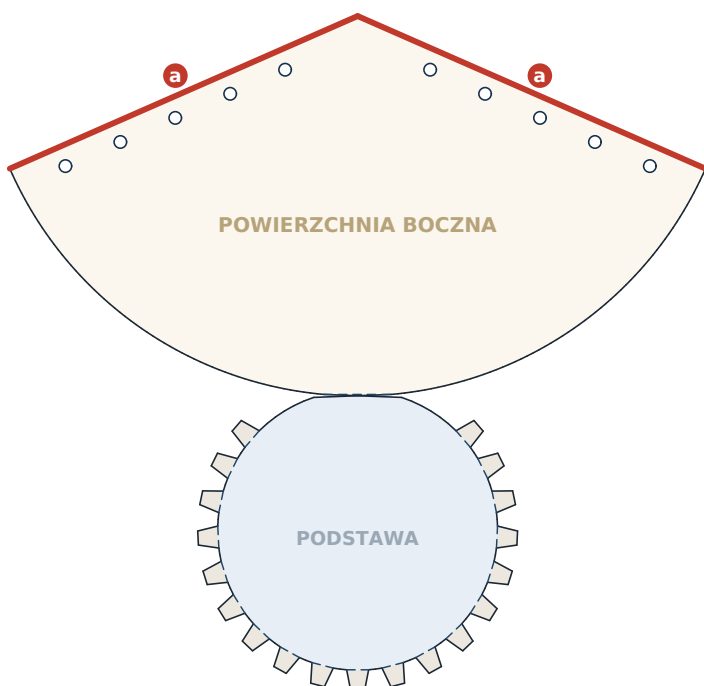
- Wafel do lodów i papierowa czapka urodzinowa.
- Stożkowe dachy wież i baszt.
- Pachołek drogowy i lejek kuchenny.
- Kształt wielu wulkanów, na przykład Fudzi.

Ciekawostka

Przecinając stożek płaszczyzną, można otrzymać okrąg, elipsę, parabolę albo hiperbolę. Te krzywe, zwane stożkowymi, opisał już w starożytności Apoloniusz z Pergi, a dziś opisują tory planet, kształt anten satelitarnych i lusterka w latarkach.

Anatomia siatki stożka

Siatka składa się z wycinka koła o promieniu równym tworzącej oraz z koła podstawy przymocowanego zawiasem do środka łuku.



Element	Rola
Dwie proste krawędzie (a)	Spotkają się jako szew wzdłuż jednej tworzącej.
Łuk wycinka	Stanie się okręgiem podstawy.
Zawias (krótka cięciwa)	Łączy łuk z kołem podstawy. To jedyne zgięcie siatki.
Ząbki koła	Wsuwają się do środka i opierają o powierzchnię boczną.
Otwory	5 par wzdłuż obu prostych krawędzi.

Dlaczego łuk ma właściwą długość

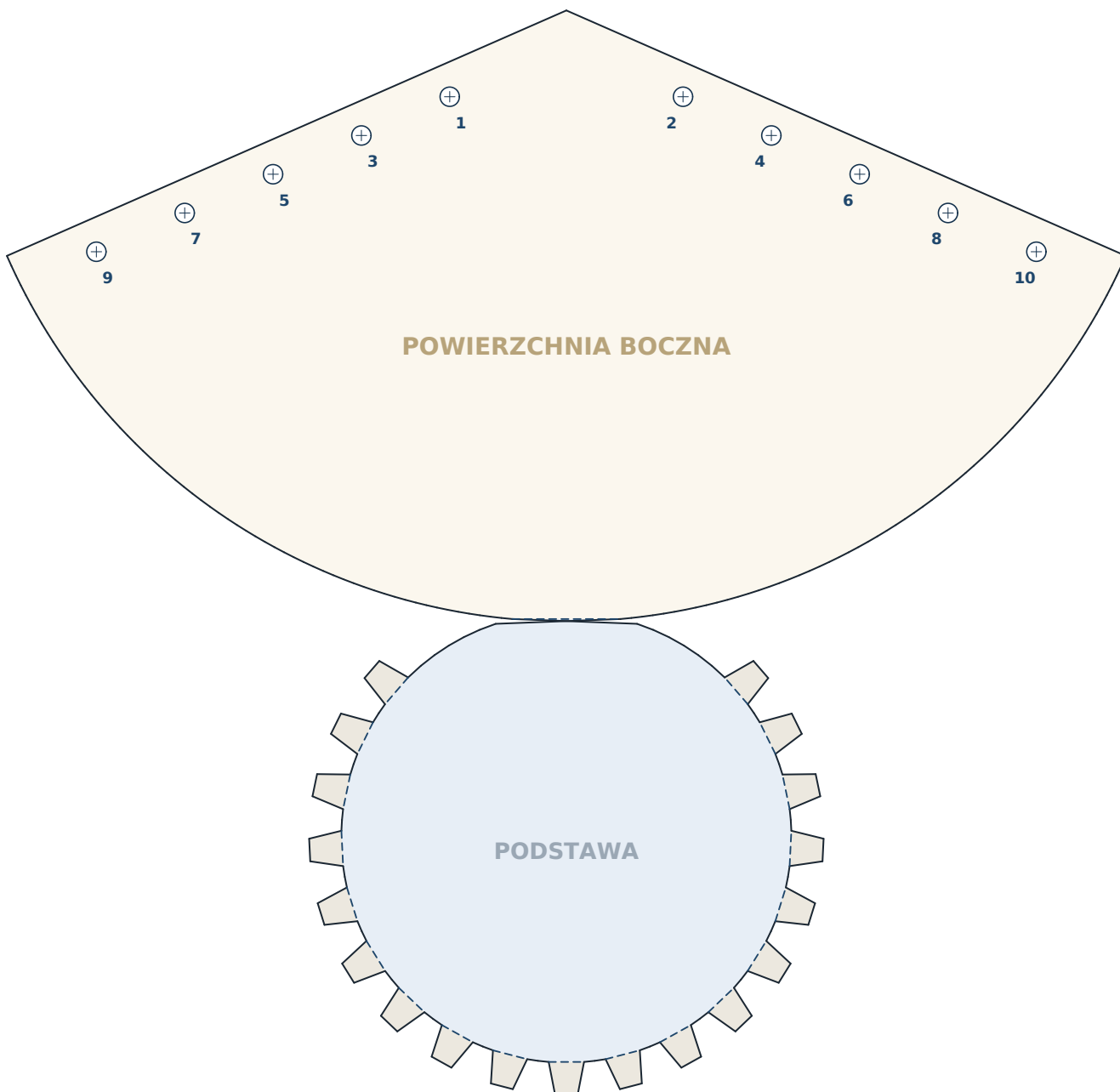
Długość łuku wycinka o promieniu l i kącie α wynosi $2\pi l \cdot \alpha / 360^\circ$. Po podstawieniu $\alpha = 360^\circ \cdot r / l$ otrzymujemy $2\pi r$, czyli dokładnie obwód koła podstawy. Dla szablonu L oba obwody mają 22,0 cm.

Zawias zamiast punktu styku

Teoretycznie koło podstawy dotyka łuku tylko w jednym punkcie. W szablonie koło lekko zachodzi na łuk, a wspólna cięciwa o długości około 2 cm tworzy mocny zawias. Różnica pola wynosi mniej niż 1% i nie wpływa na kształt modelu.

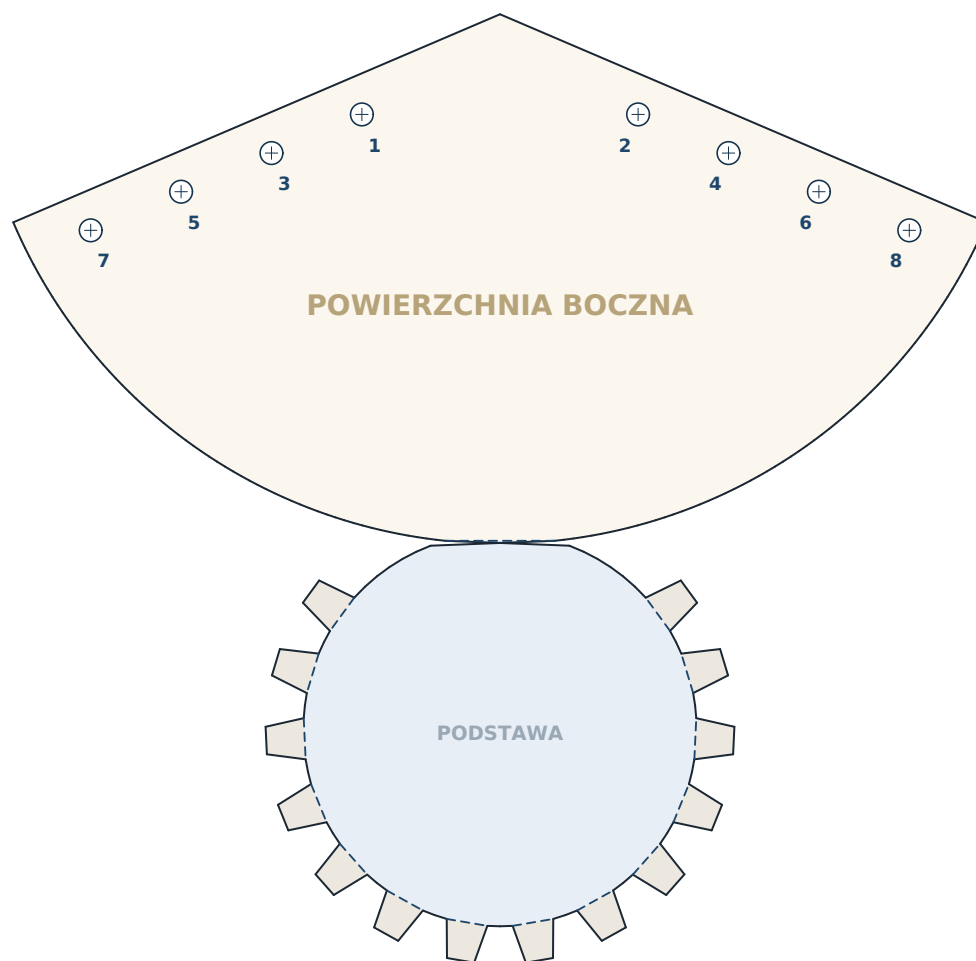
Stożek, $r = 35\text{ mm}$, tworząca 95 mm Sznurek: 54,2 cm · 10 otworów · kąt wycinka 132,6° · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



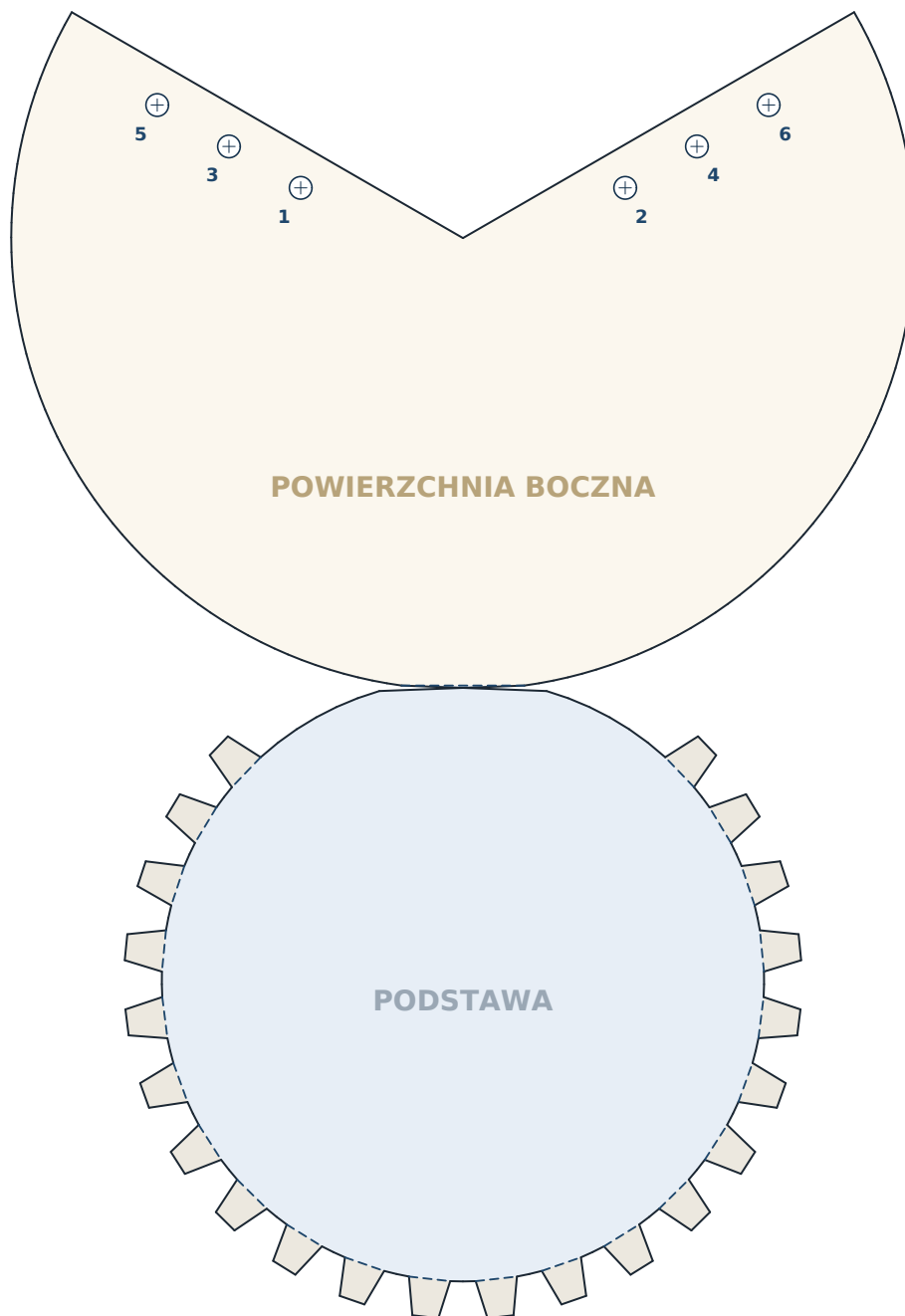
Stożek, $r = 26 \text{ mm}$, tworząca 70 mm Sznurek: $48,5 \text{ cm} \cdot 8 \text{ otworów} \cdot \text{papier od } 160 \text{ g/m}^2 \cdot \text{drukuj w skali } 100\%, \text{ papier } 180\text{-}220 \text{ g/m}^2$

kontrola skali: 20 mm



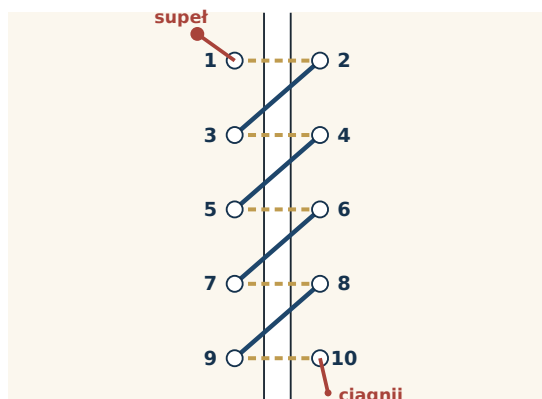
Stożek niski, $r = 40$ mm, tworząca 60 mmSznurek: 43,0 cm · kąt wycinka 240°, większy niż półkole · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Schemat sznurowania: stożek

Stożek sznurujesz techniką B. Najpierw zwijasz wycinek, potem przewlekasz sznurek zygzakiem od wierzchołka w stronę podstawy.

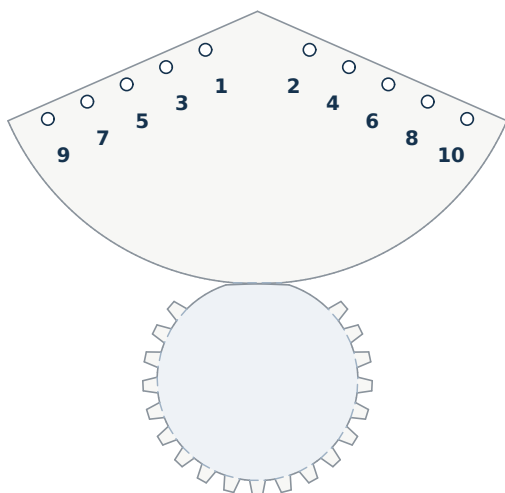


Szew widziany z zewnątrz, wierzchołek u góry.

Odcinek	Strona	Przebieg
start	zewnątrz	supel ósemka, wejście w otwór 1
1 → 2	od środka	w poprzek szwu, poziomo
2 → 3	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
3 → 4	od środka	w poprzek szwu, poziomo
4 → 5	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
5 → 6	od środka	w poprzek szwu, poziomo
6 → 7	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
7 → 8	od środka	w poprzek szwu, poziomo
8 → 9	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
9 → 10	od środka	w poprzek szwu, poziomo
koniec	zewnątrz	wyjście z otworu 10, półszyk

Na płaskiej siatce otwory nieparzyste leżą na lewej krawędzi, a parzyste na prawej. Para 1-2 jest najbliższej wierzchołka. Po zwinięciu otwory o kolejnych numerach leżą naprzeciw siebie po obu stronach szwu.

Sznurek o długości 54,2 cm wystarcza na sznurowanie przy szwie zsuniętym do 1,5 cm i dwa końce po 15 cm.



Montaż stożka krok po kroku

Czas pracy: około 20 minut. Najwięcej uwagi wymaga wycięcie ząbków i łuku.

- 1 Wydruk i kontrola skali**
Zmierz pasek 20 mm w nagłówku szablonu.
- 2 Bigowanie**
Zbiguj zawias między łukiem a kołem oraz podstawy wszystkich ząbków.
- 3 Wycinanie**
Wytnij wycinek i koło. Na łuku obracaj kartkę, a nie nożyczki. Ząbki wycinaj pojedynczo.
- 4 Przygotowanie ząbków**
Zagnij każdy ząbek od nadruku pod kątem prostym.
- 5 Otwory**
Przebij otwory wzdłuż obu prostych krawędzi.
- 6 Zwijanie**
Zwiń wycinek nadrukiem na zewnątrz. Przesuwaj dłonie po powierzchni, żeby papier wygiął się równo, bez załamania. Zbliź krawędzie na około 1,5 cm i spnij je dwoma spinaczami.
- 7 Sznurowanie**
Supł 6-semka na końcu sznurka, wejście w otwór 1 od zewnątrz, dalej zygzakiem według schematu.
- 8 Ściąganie szwu**
Zdejmij spinacze. Dociągaj sznurek odcinek po odcinku, od wierzchołka do podstawy.
- 9 Zabezpieczenie**
Zawiąż półszytek przy ostatnim otworze i skróć koniec do 3 cm.
- 10 Podstawa**
Złóż koło na zawiasie i wsuń ząbki do środka, jeden po drugim, zaczynając od zawiasu.

Równy wierzchołek

Szpic stożka łatwo się gniece. Przed zwijaniem przeciągnij wycinek kilka razy przez krawędź stołu, jak wstążkę przy kręceniu, od wierzchołka w stronę łuku. Papier zacznie sam się zwijać.

Stożek: problemy i rozwiązania

Stożek jest jedyną bryłą zestawu, w której powierzchnia zbiega się do jednego punktu. To tam pojawia się większość problemów.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Wierzchołek zagnieciony	Zwijanie siłą, bez wstępnego wygięcia	Wygnij wycinek przez krawędź stołu przed zwijaniem.
Szew skręca się spiralnie	Otwory sparowane z przesunięciem	Sprawdź, czy otwory 1 i 2 leżą naprzeciw siebie, potem kolejne pary.
Podstawa jest owalna	Szew ściągnięty mocniej u góry niż u dołu	Wyrównaj naciąg wszystkich odcinków.
Koło nie mieści się w podstawie	Szew niedociągnięty, obwód za duży lub za mały	Dociągnij szew do styku krawędzi.
Ząbki wypadają	Ząbki niezagięte lub za płytko wsunięte	Zagnij ząbki do 90° i wsuń je głębiej.
Supel przechodzi przez otwór	Za mały supel	Zawiąż podwójną ósemkę albo przewleczone koniec przez guzik.
Wariant niski się spłaszcza	Duży kąt wycinka i słaby papier	Użyj papieru 220 g/m ² , dociągnij szew mocno.

Test jakości

Postaw stożek na podstawie i spójrz z góry. Wierzchołek powinien znajdować się dokładnie nad środkiem koła podstawy, a szew biec prosto od wierzchołka do podstawy.

Matematyka modelu: stożek

Stożek najlepiej pokazuje związek między siatką a bryłą: kąt wycinka zależy wyłącznie od stosunku promienia do tworzącej.

Wielkość	Szablon L	Szablon M	Wariant niski
Promień r	35 mm	26 mm	40 mm
Tworząca l	95 mm	70 mm	60 mm
Wysokość H	8,8 cm	6,5 cm	4,5 cm
Kąt wycinka α	132,6°	133,7°	240,0°
Pole boczne $\pi r l$	104,5 cm ²	57,2 cm ²	75,4 cm ²
Pole całkowite	142,9 cm ²	78,4 cm ²	125,7 cm ²
Objętość	113,3 cm ³	46,0 cm ³	74,9 cm ³
Długość sznurka	54,2 cm	48,5 cm	43,0 cm

Kąt wycinka mówi, jaki będzie stożek

- Im mniejszy kąt wycinka, tym węższy i wyższy stożek. Kąt zbliżony do 0° daje bardzo smukły szpic.
- Kąt 180° (półkole) daje stożek, w którym tworząca jest dwa razy dłuższa od promienia, a przekrój osiowy jest trójkątem równobocznym.
- Kąt zbliżony do 360° daje stożek prawie płaski. Wariant niski ma 240°.

Promienie modeli M i L mają proporcję 0,743, a tworzące 0,737. Proporcje są prawie równe, więc oba stożki są prawie podobne, a kąty ich wycinków różnią się tylko o około 1°.

Stożek i walec

Stożek o tej samej podstawie i wysokości co walec ma objętość trzy razy mniejszą. Dla stożka L walec o tej samej podstawie i wysokości miałby objętość 339,9 cm³.

Obserwacje na modelu stożka

Stożek to bryła obrotowa. Ma nieskończenie wiele płaszczyzn symetrii: każdą płaszczyznę zawierającą jego oś.

Przekroje płaszczyzną

Położenie płaszczyzny	Kształt przekroju
Równoległa do podstawy	Koło. Im bliżej wierzchołka, tym mniejsze.
Przez oś stożka	Trójkąt równoramienny o ramionach l i podstawie $2r$.
Lekko nachylona, przecina całą powierzchnię boczną	Elipsa.
Równoległa do jednej tworzącej	Figura ograniczona łukiem paraboli i cięciwą podstawy.
Bardziej stroma niż tworząca	Figura ograniczona łukiem hiperboli i cięciwą podstawy.

Rzuty i cienie

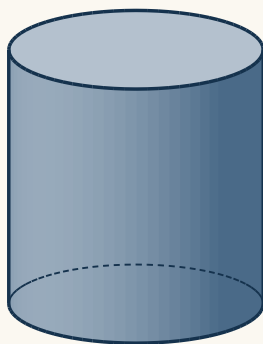
Z góry stożek wygląda jak koło z punktem w środku: rzutem wierzchołka. Z boku widać trójkąt równoramienny, czyli przekrój osiowy. Ukośnie oświetlony stożek rzuca cień w kształcie koła z doklejonym trójkątem.

Szew jako tworząca

Linia sznurowania na modelu to dokładnie jedna tworząca. Położenie tworzącej nie ma znaczenia: na powierzchni bocznej można by poprowadzić szew w dowolnym miejscu i otrzymać ten sam stożek.

Doświadczenie z latarką

Oświetl stożek latarką z boku, a potem z góry. Następnie spróbuj ustawić go tak, aby cień był kołem bez żadnego wystającego trójkąta. Kiedy to się udaje?



ROZDZIAŁ 9

Walec ze szwem

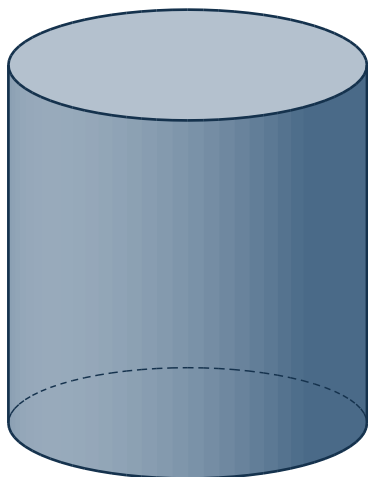


Prostokąt zwija się w rurę, sznurek zszywa ją wzdłuż wysokości, a dwa koła z ząbkami zamykają bryłę z obu stron.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Karta bryły
- ❖ Anatomia siatki
- ❖ Szablon L
- ❖ Szablon M
- ❖ Szablon: wariant wysoki
- ❖ Schemat sznurowania
- ❖ Montaż krok po kroku
- ❖ Problemy i rozwiązania
- ❖ Matematyka modelu
- ❖ Obserwacje na modelu

Karta bryły: walec



Walec powstaje z obrotu prostokąta wokół jednego z jego boków. Ma dwie przystające podstawy w kształcie koła, leżące w równoległych płaszczyznach, i powierzchnię boczną.

Podstawy	2 koła o promieniu r
Powierzchnia boczna	zakrzywiona, zwija się z prostokąta
Wierzchołki	brak
Wysokość h	odległość między podstawami
Oś symetrii	1 (dowolny obrót)

Wzory i wartości dla szablonu L

Wielkość	Wzór	Szablon L ($r = 25 \text{ mm}$, $h = 80 \text{ mm}$)
Obwód podstawy	$2\pi r$	15,7 cm
Pole podstawy	πr^2	19,6 cm ²
Pole powierzchni bocznej	$2\pi r h$	125,7 cm ²
Pole powierzchni całkowitej	$2\pi r^2 + 2\pi r h$	164,9 cm ²
Objętość	$\pi r^2 h$	157,1 cm ³

Walec wokół nas

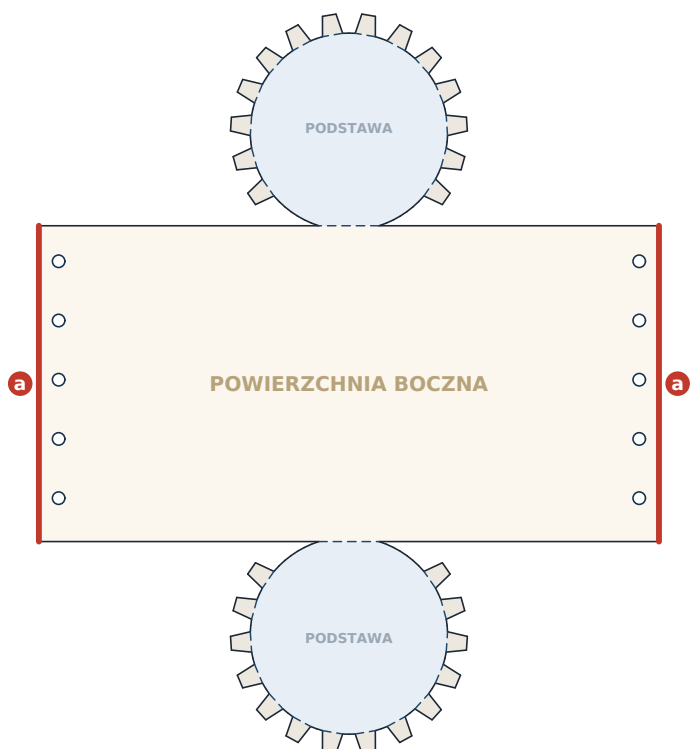
- Puszki, słoiki i tuby na dokumenty.
- Kolumny, rury i kominy.
- Baterie i świece.
- Bębny, wałki do ciasta, rolki papieru.

Ciekawostka

Spośród wszystkich walców o danej objętości najmniej materiału na powierzchnię potrzebuje ten, którego wysokość równa się średnicy podstawy. Dlatego wiele konserw ma proporcje zbliżone do kwadratu w przekroju osiowym.

Anatomia siatki walca

Siatka walca to prostokąt i dwa koła. Długość prostokąta równa się obwodowi koła, a jego szerokość to wysokość walca.



Element	Rola
Krótkie boki prostokąta (a)	Spotkają się jako szew wzdłuż wysokości walca.
Długie boki prostokąta	Staną się okręgami obu podstaw.
Dwa zawiasy	Łączą koła z prostokątem. To jedyne zgięcia siatki.
Ząbki kół	Wsuwają się do środka rury.
Otwory	5 par wzdłuż krótkich boków.

Sprawdzenie długości prostokąta

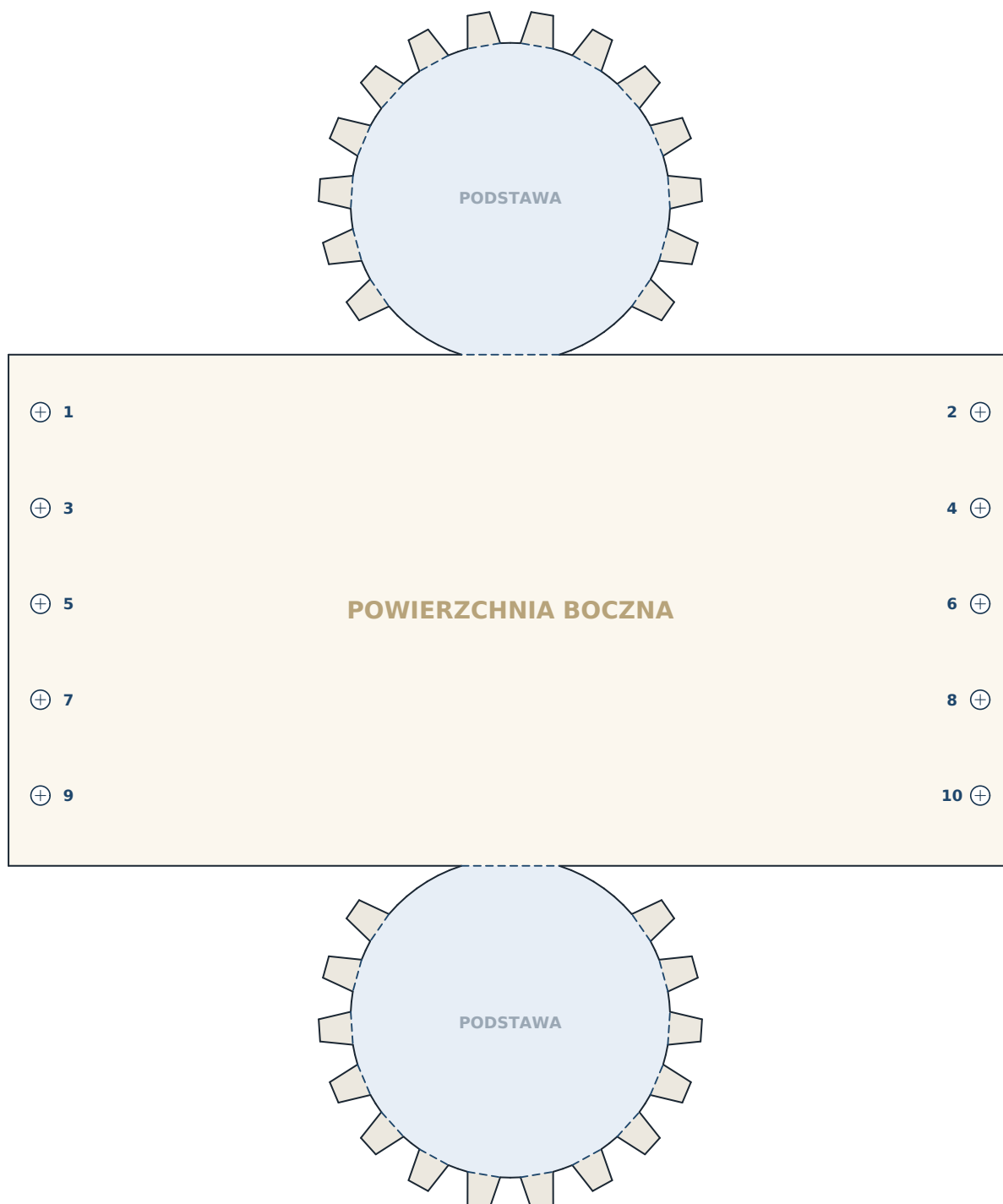
Obwód koła o promieniu 25 mm wynosi $2\pi \cdot 25 \approx 157,1$ mm. Dokładnie tyle ma długość prostokąta w szablonie L. Po zwinięciu krótkie boki prostokąta spotykają się, a długie boki tworzą dwa okręgi o tym samym obwodzie.

Koła po przeciwnych stronach

Oba koła są przymocowane do środka długich boków, czyli po stronie przeciwnej do szwu. Szew znajduje się z tyłu, a zawiasy z przodu modelu. Dzięki temu ciągnięcie sznurka nie przesuwa kół.

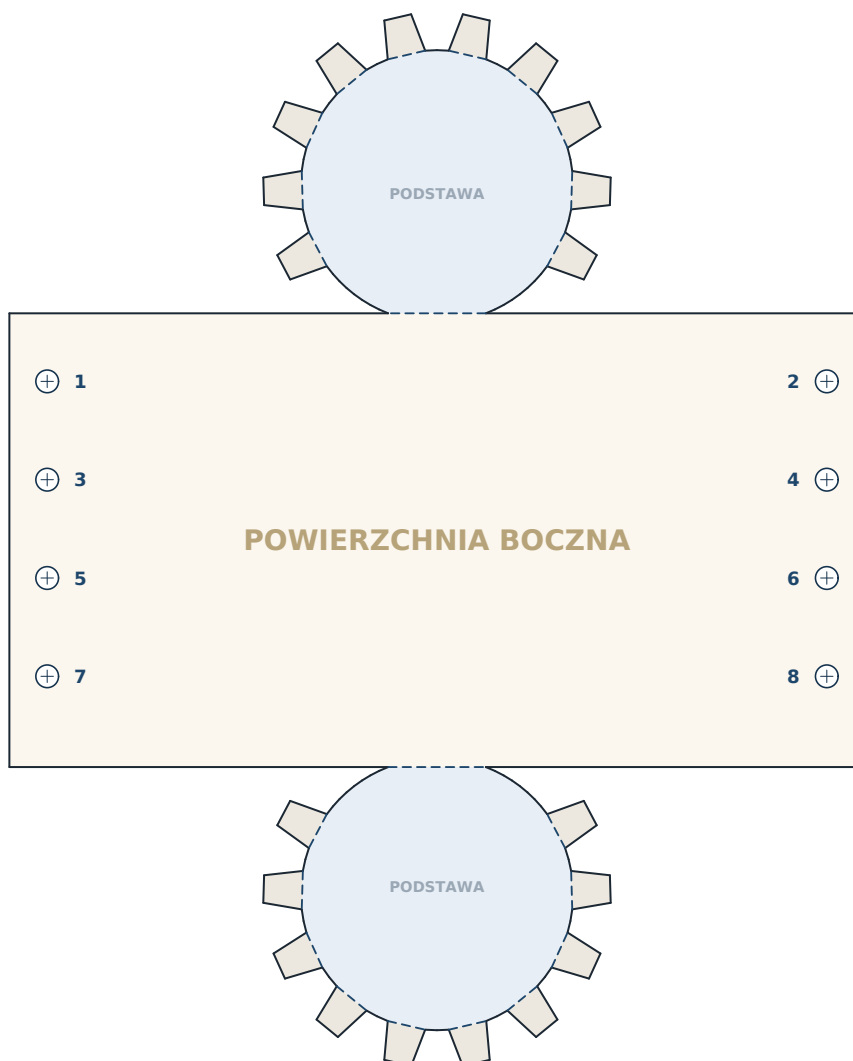
Walec, $r = 25\text{ mm}$, $h = 80\text{ mm}$ Sznurek: 54,2 cm · 10 otworów · dwie podstawy z ząbkami · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



Walec, $r = 18\text{ mm}$, $h = 60\text{ mm}$ Sznurek: 48,5 cm · 8 otworów · papier od 160 g/m² · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



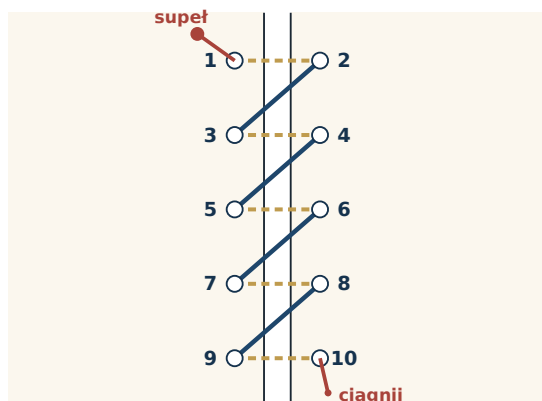
Walec wysoki, $r = 16 \text{ mm}$, $h = 130 \text{ mm}$ Sznurek: 65,6 cm · 14 otworów · smukła kolumna · drukuj w skali 100%, papier 180-220 g/m²

kontrola skali: 20 mm



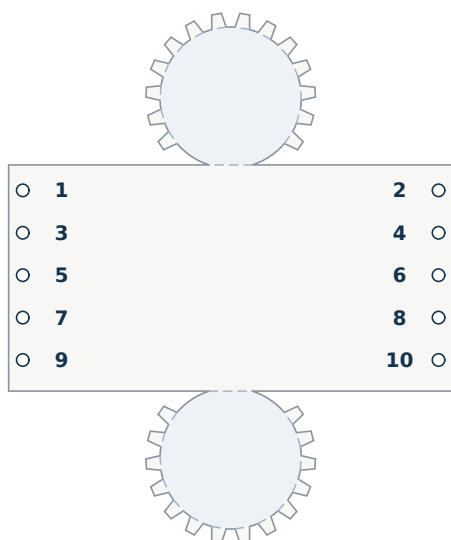
Schemat sznurowania: walec

Walec sznurujesz techniką B, tak jak stożek. Szew jest prosty i równoległy do osi, więc wszystkie odcinki ukośne mają tę samą długość.



Szew widziany z zewnątrz, górna podstawa u góry.

Odcinek	Strona	Przebieg
start	zewnątrz	supel ósemka, wejście w otwór 1
1 → 2	od środka	w poprzek szwu, poziomo
2 → 3	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
3 → 4	od środka	w poprzek szwu, poziomo
4 → 5	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
5 → 6	od środka	w poprzek szwu, poziomo
6 → 7	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
7 → 8	od środka	w poprzek szwu, poziomo
8 → 9	na zewnątrz	ukośnie do następnej pary
9 → 10	od środka	w poprzek szwu, poziomo
koniec	zewnątrz	wyjście z otworu 10, półszyk



Otwory nieparzyste leżą przy lewym krótkim boku prostokąta, parzyste przy prawym. Pierwsza para jest przy górnej podstawie. Otwory tworzą pary na tej samej wysokości.

Sznurek o długości 54,2 cm wystarcza na sznurowanie przy szwie zsuniętym do 1,5 cm i dwa końce po 15 cm.

Montaż walca krok po kroku

Czas pracy: około 20 minut. Walec zwija się łatwiej niż stożek, bo prostokąt wygina się tylko w jednym kierunku.

- 1 Wydruk i kontrola skali**
Zmierz pasek 20 mm w nagłówku szablonu.
- 2 Bigowanie**
Zbiguj dwa zawiasy kół i podstawy wszystkich ząbków.
- 3 Wycinanie**
Wytnij prostokąt z oboma kołami w jednym kawałku. Ząbki wycinaj pojedynczo.
- 4 Wyginanie**
Przeciągnij prostokąt kilka razy przez krawędź stołu, prostopadle do długich boków. Papier zacznie się zwijać sam.
- 5 Otwory**
Przebij otwory przy obu krótkich bokach.
- 6 Zwijanie**
Zwiń prostokąt nadrukiem na zewnątrz, krótkie boki zbliż na 1,5 cm i spnij spinaczami.
- 7 Sznurowanie**
Ósemka na końcu sznurka, wejście w otwór 1 od zewnątrz, dalej zygzakiem według schematu.
- 8 Ściąganie szwu**
Zdejmij spinacze i dociągaj sznurek od góry do dołu, aż krótkie boki się zetkną.
- 9 Zabezpieczenie**
Zawiąż półszytek przy ostatnim otworze i skróć koniec.
- 10 Podstawy**
Zamknij kolejno oba koła: złóż na zawiasie i wsuń ząbki do środka rury.

Walec jako pojemnik

Jeśli górnego koła nie zamkniesz, walec stanie się kubkiem. Można w nim porównywać objętość z pudełkiem sześciennym, przesypując suchą fasolę lub ciecierzycę z jednego modelu do drugiego. Ziarna muszą być większe od otworów, które mają 3 mm.

Walec: problemy i rozwiązania

Walec jest wdzięcznym modelem, ale jego koła wymagają dokładnego cięcia ząbków.

Objaw	Przyczyna	Rozwiązanie
Rura ma kanciaste załamania	Papier nie został wstępnie wygięty	Wygnij prostokąt przez krawędź stołu przed zwijaniem.
Szew rozchodzi się na środku	Środkowe odcinki za słabo dociągnięte	Dociągaj każdy odcinek po kolei, nie tylko koniec.
Koło nie mieści się w rurze	Szew zbyt ściągnięty, krawędzie zachodzą	Poluzuj sznurek, aż krawędzie tylko się stykają.
Koło wpada do środka	Szew zbyt luźny, obwód za duży	Dociągnij szew do pełnego styku krawędzi.
Ząbki wystają na zewnątrz	Ząbki zagięte w złą stronę	Zagnij je od nadruku, do wnętrza rury.
Walec wysoki się wygina	Długi szew i cienki papier	Użyj papieru 220 g/m ² , zwiększ naciąg w środku szwu.

Test jakości

Postaw walec na stole i przetocz go po blacie. Dobrze złożony walec toczy się po prostej, bez kołysania. Kołysanie oznacza, że któreś koło jest przekrzywione.

Matematyka modelu: walec

Walec ma najprostsze wzory ze wszystkich brył obrotowych. Wymiary siatki prowadzą do nich bezpośrednio.

Wielkość	Szablon L	Szablon M	Wariant wysoki
Promień r	25 mm	18 mm	16 mm
Wysokość h	80 mm	60 mm	130 mm
Długość prostokąta $2\pi r$	157,1 mm	113,1 mm	100,5 mm
Pole boczne $2\pi rh$	125,7 cm ²	67,9 cm ²	130,7 cm ²
Pole całkowite	164,9 cm ²	88,2 cm ²	146,8 cm ²
Objętość	157,1 cm ³	61,1 cm ³	104,6 cm ³
Stosunek $h : 2r$	1,60	1,67	4,06
Długość sznurka	54,2 cm	48,5 cm	65,6 cm

Walec L i walec wysoki: kto pomieści więcej

Walec wysoki ma wysokość 13,0 cm, a walec L tylko 8,0 cm. Mimo to objętość walca L jest większa: 157,1 cm³ wobec 104,6 cm³. Objętość zależy od kwadratu promienia, a promień walca L jest większy.

Skala M do L wynosi $k = 0,720$. Pole modelu M to 52% pola modelu L, a objętość 37%.

Wzór na objętość z siatki

Objętość walca to pole podstawy razy wysokość. Pole podstawy widać na siatce jako koło, wysokość jako krótszy bok prostokąta. Model łączy oba wymiary w jedną bryłę.

Obserwacje na modelu walca

Walec, podobnie jak stożek, jest bryłą obrotową. Jego płaszczyzny symetrii to wszystkie płaszczyzny zawierające oś oraz jedna płaszczyzna prostopadła do osi, w połowie wysokości.

Przekroje płaszczyzną

Położenie płaszczyzny	Kształt przekroju
Równoległa do podstaw	Koło przystające do podstawy.
Przez oś walca	Prostokąt o bokach $2r$ i h .
Równoległa do osi, poza nią	Prostokąt węższy niż przekrój osiowy.
Nachylona, przecina tylko powierzchnię boczną	Elipsa.
Nachylona, przecina podstawę	Fragment elipsy odcięty cięciwą.

Rzuty i cienie

Z góry walec wygląda jak koło, z boku jak prostokąt. Jest to przykład bryły, której dwa rzuty są zupełnie różnymi figurami. Cień walca oświetlonego ukośnie składa się z prostokąta i dwóch półelips.

Walec i prostokąt

Szew na modelu biegnie równolegle do osi, a pozioma linia narysowana na płaskim prostokącie po zwinięciu staje się okręgiem. Ukośna prosta narysowana na prostokącie po zwinięciu tworzy linię śrubową, taką jak gwint śruby albo pasek na lasce cukrowej.

Doświadczenie z linią śrubową

Przed zwinięciem narysuj ołówkiem na odwrocie prostokąta ukośną prostą od lewego dolnego do prawego górnego rogu. Po złożeniu zajrzyj do środka walca przez otwartą podstawę: zobaczysz jeden pełny zwój linii śrubowej.



DODATKI

Materiały pomocnicze



Zestawienia, listy kontrolne i słowniczek. Wszystko, co przydaje się przy pracy z wieloma modelami naraz.

W TYM ROZDZIALE

- ❖ Zestawienie brył
- ❖ Wymiary szablonów
- ❖ Karta kontroli jakości
- ❖ Przygotowanie dla grupy
- ❖ Słowniczek pojęć
- ❖ Pytania i odpowiedzi
- ❖ Notatki

Zestawienie sześciu brył

Najważniejsze dane wszystkich modeli w jednej tabeli: do szybkiego porównania i wyboru bryły na zajęcia.

Bryła	Ściany	Krawędzie	Wierzchołki	Technika	Czas	Trudność
Ostrosłup trójkątny	4	6	4	A	10 min	★
Ostrosłup czworokątny	5	8	5	A	15 min	★★
Graniastosłup trójkątny	5	9	6	A	15 min	★★
Sześcián	6	12	8	A	20 min	★★★
Walec	3 powierzchnie	-	-	B	20 min	★★★
Stożek	2 powierzchnie	-	1	B	20 min	★★★

Proponowana kolejność nauki

- 1 Ostrosłup trójkątny**
Najmniej otworów, najprostsze cięcie. Uczy zasady pętli.
- 2 Ostrosłup czworokątny**
Ta sama technika, cztery ściany. Efektowne składanie.
- 3 Graniastosłup trójkątny**
Pętla stawia ściany o różnych kształtach, grzbiet domyka się sam.
- 4 Sześcián**
Pętla i dodatkowo wieczko z klapkami.
- 5 Walec**
Nowa technika: sznurowanie szwu i koła z ząbkami.
- 6 Stożek**
Szew zbiegający się w wierzchołku: najbardziej wymagający.

Legenda

Technika A: pętla podnosząca. Technika B: sznurowanie szwu. Czas dotyczy pierwszego modelu w rozmiarze L razem z przygotowaniem. Gwiazdki oznaczają trudność od 1 do 3.

Wymiary wszystkich szablonów

Osiemnaście szablonów z wymiarami bryły, rozmiarem siatki na kartce, liczbą otworów i obliczoną długością sznurka razem z dwoma końcami po 15 cm.

Szablon	Wymiary bryły	Siatka (mm)	Otwory	Techn.	Sznurek
Sześcian L	$a = 52 \text{ mm}$	156×223	8	A	60,1 cm
Sześcian M	$a = 38 \text{ mm}$	114×163	8	A	52,0 cm
Pudełko otwarte	$a = 55 \text{ mm}$	165×165	8	A	61,9 cm
Ostrosłup czworokątny L	$a = s = 62 \text{ mm}$	169×169	8	A	59,3 cm
Ostrosłup czworokątny M	$a = s = 45 \text{ mm}$	123×123	8	A	50,9 cm
Ostrosłup czworokątny wysoki	$a = 42, s = 66 \text{ mm}$	167×167	8	A	54,0 cm
Czworościan L	$a = 84 \text{ mm}$	168×145	6	A	58,5 cm
Czworościan M	$a = 60 \text{ mm}$	120×104	6	A	49,9 cm
Ostrosłup trójkątny wysoki	$a = 54, s = 82 \text{ mm}$	161×140	6	A	52,2 cm
Graniastosłup L	$a = 54, L = 80 \text{ mm}$	174×162	8	A	60,0 cm
Graniastosłup M	$a = 40, L = 60 \text{ mm}$	129×120	8	A	52,1 cm
Graniastosłup dach	$b = 64, c = 46, L = 96 \text{ mm}$	162×156	8	A	61,0 cm
Stożek L	$r = 35, l = 95 \text{ mm}$	174×169	10	B	54,2 cm
Stożek M	$r = 26, l = 70 \text{ mm}$	129×125	8	B	48,5 cm
Stożek niski	$r = 40, l = 60 \text{ mm}$	120×173	6	B	43,0 cm
Walec L	$r = 25, h = 80 \text{ mm}$	157×187	10	B	54,2 cm
Walec M	$r = 18, h = 60 \text{ mm}$	113×139	8	B	48,5 cm
Walec wysoki	$r = 16, h = 130 \text{ mm}$	101×201	14	B	65,6 cm

Rozmiar siatki to prostokąt, w którym mieści się cała siatka razem z klapkami i ząbkami. Wszystkie siatki mieszczą się w polu $176 \times 263 \text{ mm}$, czyli na kartce A4 z marginesami 17 mm.

Karta kontroli jakości modelu

Lista kontrolna dla każdego gotowego modelu. Przydaje się zwłaszcza przy pracy w grupie: uczniowie mogą sprawdzać modele nawzajem.

✓	Etap	Kryterium
☐	Wydruk	Pasek kontrolny w nagłówku szablonu ma 20 mm.
☐	Wydruk	Linie są ostre, papier ma co najmniej 160 g/m ² .
☐	Bigowanie	Każda linia przerywana ma wyraźny rowek.
☐	Cięcie	Krawędzie są proste, bez postrzępień, wklęsłe narożniki docięte do wierzchołka.
☐	Otworki	Wszystkie otworki przebite na krzyżykach, bez pęknięć w stronę krawędzi.
☐	Sznurek	Trasa zgodna z numeracją, nieparzysty do parzystego pod spodem.
☐	Składanie	Wszystkie krawędzie domknięte na całej długości.
☐	Składanie	Nadruk znajduje się na zewnątrz bryły.
☐	Zamknięcie	Kokardka lub półszytyk zawiązane, końce skrócone.
☐	Stabilność	Bryła stoi równo na podstawie, nie kołysze się.
☐	Wygląd	Wierzchołki są ostre, bez zagnieceń.
☐	Rozkładanie	Model daje się rozłożyć na płasko bez rozrywania otworów.

Model wzorcowy

12 z 12 punktów. Nadaje się do pokazu i jako wzór dla innych.

Model do poprawki

Mniej niż 10 punktów. Zobacz stronę problemów danej bryły.

Przygotowanie zestawu dla grupy

Ile sznurka i papieru przygotować dla całej klasy lub grupy warsztatowej. Obliczenia dotyczą szablonów L i zawierają 10% zapasu.

Bryła (szablon L)	Na 1 model	10 osób	20 osób	30 osób
Sześcian	60 cm	7,0 m	13,5 m	20,0 m
Ostrosłup czworokątny	59 cm	7,0 m	13,5 m	20,0 m
Ostrosłup trójkątny	59 cm	6,5 m	13,0 m	19,5 m
Graniastosłup trójkątny	60 cm	7,0 m	13,5 m	20,0 m
Stożek	54 cm	6,0 m	12,0 m	18,0 m
Walec	54 cm	6,0 m	12,0 m	18,0 m
Komplet sześciu brył	-	39,5 m	77,5 m	115,5 m

Papier i czas

- Każdy szablon zajmuje jedną kartkę A4. Komplet sześciu brył to sześć kartek na osobę plus kilka zapasowych.
- Dla 20 osób budujących po jednej bryle przygotuj około 25 kartek papieru 200 g/m².
- Pierwsza bryła zajmuje zwykle 20-30 minut razem z instrukcją. Kolejne powstają dwa razy szybciej.
- Otwory przebite wcześniej przez dorosłego skracają zajęcia o około 5 minut na model.

Organizacja pracy

Czas	Etap	Kto
Przed zajęciami	Wydruk, test skali, przebicie otworów, odcięcie sznurków	prowadzący
5 min	Pokaz składania gotowego modelu	prowadzący
10 min	Bigowanie i wycinanie	uczestnicy
5 min	Nawlekanie według numerów	uczestnicy w parach
5 min	Składanie, kokardka, kontrola jakości	uczestnicy w parach

Słownikzek pojęć (A-P)

Pojęcie	Wyjaśnienie
Bigowanie	Wyciskanie rowka wzdłuż linii zgięcia, dzięki któremu papier zgina się równo.
Bryła	Część przestrzeni ograniczona zamkniętą powierzchnią.
Bryła obrotowa	Bryła powstała z obrotu figury płaskiej wokół prostej, np. walec, stożek.
Cięciwa	Odcinek łączący dwa punkty okręgu. W szablonach tworzy zawias koła.
Czworościan foremny	Ostrosłup trójkątny, którego wszystkie cztery ściany są trójkątami równobocznymi.
Graniastosłup	Wielościan o dwóch przystających, równoległych podstawach i ścianach bocznych będących równoległobokami.
Graniastosłup prawidłowy	Graniastosłup prosty, którego podstawy są wielokątami foremnymi.
Gramatura	Masa jednego metra kwadratowego papieru w gramach. Im wyższa, tym papier grubszy.
Kąt dwuścienny	Kąt między dwiema ścianami bryły, mierzony prostopadłe do ich wspólnej krawędzi.
Klapka	Dodatkowy pasek papieru, który nie jest ścianą bryły, lecz ją przytrzymuje.
Kokardka	Węzeł z dwiema pętlami, rozwiązywany pociągnięciem za koniec. Blokuje pętlę sznurka.
Krawędź	Odcinek wspólny dwóch ścian wielościanu.
Linia cięcia	Ciągła linia na szablonie, po której wycinamy siatkę.
Linia zgięcia	Przerywana linia na szablonie, wzdłuż której zginamy papier.
Objętość	Miara przestrzeni zajmowanej przez bryłę, np. w cm^3 .
Oś obrotu	Prosta, wokół której obraca się figura tworząca bryłę obrotową.
Ostrosłup	Wielościan o jednej podstawie i ścianach bocznych w kształcie trójkątów o wspólnym wierzchołku.
Pętla podnosząca	Zamknięta trasa sznurka wokół podstawy. Jej skracanie podnosi ściany boczne.
Płaszczyzna symetrii	Płaszczyzna dzieląca bryłę na dwie części będące swoimi odbiciami lustrzanymi.

Słownikzek pojęć (P-Z)

Pojęcie	Wyjaśnienie
Podstawa	Wyróżniona ściana lub koło bryły. W graniastosłupie są dwie, w ostrosłupie i stożku jedna.
Pole powierzchni	Suma pól wszystkich ścian lub powierzchni bryły, równa polu jej siatki bez kłapek.
Powierzchnia boczna	Wszystkie ściany bryły poza podstawami, w bryłach obrotowych zakrzywiona powierzchnia.
Pólszyk	Prosty węzeł zabezpieczający koniec sznurka po sznurowaniu szwu.
Przekrój	Figura powstała z przecięcia bryły płaszczyzną.
Rzut	Obraz bryły na płaszczyźnie widziany z określonego kierunku.
Siatka bryły	Płaska figura, którą można złożyć w bryłę bez nakładania się ścian.
Stożek	Bryła obrotowa powstała z obrotu trójkąta prostokątnego wokół przyprostokątnej.
Szew	Linia, wzdłuż której łączą się dwie krawędzie powierzchni bocznej stożka lub walca.
Ściana	Wielokąt ograniczający wielościan.
Tworząca	Odcinek na powierzchni bocznej stożka lub walca biegnący od podstawy do wierzchołka lub drugiej podstawy.
Walec	Bryła obrotowa powstała z obrotu prostokąta wokół jednego z boków.
Wielościan	Bryła ograniczona wyłącznie wielokątami.
Wierzchołek	Punkt, w którym spotykają się co najmniej trzy ściany (w stożku: szczyt).
Wycinek koła	Część koła ograniczona dwoma promieniami i łukiem. Siatka powierzchni bocznej stożka.
Wysokość bryły	Odległość wierzchołka lub górnej podstawy od płaszczyzny podstawy.
Wzór Eulera	Zależność $W - K + S = 2$ dla wielościanów wypukłych.
Ząbek	Mała klapka na brzegu koła, wsuwana do środka bryły.
Zawias	Krótkie zgięcie łączące koło z resztą siatki.

Pytania i odpowiedzi (1)

Czy mogę drukować szablony na zwykłym papierze do drukarki?

Model się złoży, ale papier 80 g/m² jest zbyt miękki: ściany się uginają, a otwory rozrywają. Jeśli nie masz grubszego papieru, wybierz szablony M, a gotowy model traktuj ostrożnie.

Model złożył się, ale nadruk jest w środku. Co zrobiłem źle?

Siatka była ciągnięta nadrukiem do góry. Nawlekamy nadrukiem do góry, ale przed ciągnięciem odwracamy siatkę nadrukiem do stołu. Wystarczy rozłożyć model, odwrócić i pociągnąć ponownie.

Czy mogę pomniejszyć lub powiększyć szablon na drukarce?

Tak, bryła i tak się złoży, bo wszystkie wymiary zmieniają się proporcjonalnie. Zmieniają się jednak wartości w tabelach obliczeń, a otwory mogą znaleźć się bliżej krawędzi niż 5 mm przy dużym pomniejszeniu. Dla mniejszych modeli lepiej użyć gotowych szablonów M.

Jak długi ma być sznurek, jeśli zgubię tabelę?

Położ sznurek na płaskiej siatce wzdłuż całej trasy przez otwory i dodaj 15 cm na każdy koniec. W technice B zmierz trasę na zwiniętym, spiętym modelu.

Czy mogę użyć kleju?

Tak, ale model przestanie się rozkładać. Kropla kleju przydaje się jedynie przy ząbkach kół, jeśli walec lub stożek ma stać na wystawie długi czas.

Dlaczego otwory są numerowane, a nie tylko zaznaczone?

Numeracja jednoznacznie wyznacza kolejność i stronę przewlekania. Wystarczy zapamiętać jedną zasadę: nieparzysty do parzystego pod spodem, parzysty do nieparzystego na wierzchu.

Ile razy mogę złożyć i rozłożyć model?

Model z papieru 200 g/m² wytrzyma kilkadziesiąt cykli. Wzmocnienie otworów taśmą wydłuży ten czas kilkukrotnie.

Pytania i odpowiedzi (2)

Czy dzieci poradzą sobie samodzielnie?

Z nawlekaniem i ciągnięciem radzą sobie już młodsze dzieci, bo numeracja prowadzi je krok po kroku. Przebijanie otworów i cięcie nożykiem zawsze wykonuje dorośli.

Który model zrobić jako pierwszy?

Ostrosłup trójkątny w rozmiarze L. Ma sześć otworów, proste cięcie i składa się jednym pociągnięciem.

Czy mogę pokolorować szablony?

Tak. Koloruj przed wycięciem, kredkami lub cienkimi flamastrami. Farby wodne mogą pofalować papier.

Czy szablony pasują do siebie rozmiarami?

Szablony L mają zbliżone rozmiary, dlatego dobrze wyglądają ustawione obok siebie. Nie mają jednak identycznych krawędzi, więc nie należy ich traktować jak klocków pasujących bez luzu.

Co zrobić, gdy pękł otwór?

Naklej od spodu kawałek przezroczystej taśmy na pęknięcie i przebij otwór ponownie, obok starego, zachowując tę samą odległość od wierzchołka.

Czy sznurek może zostać w modelu na stałe?

Tak. Sznurek w kontrastowym kolorze podkreśla przebieg pętli lub szwu i sam staje się elementem dekoracyjnym. Przy przechowywaniu na płasko sznurek może zostać w otworach.

Czy w szablonach M obowiązuje ta sama numeracja?

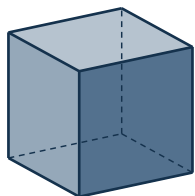
Tak. Każdy szablon danej bryły ma tę samą numerację otworów i ten sam schemat nawlekania. Różni się jedynie wielkość i długość sznurka.

Czy mogę zrobić model większy niż L?

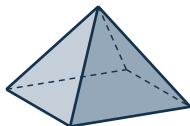
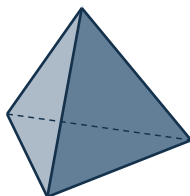
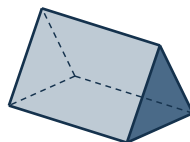
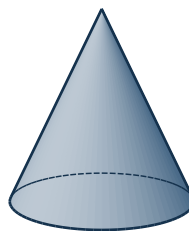
Tak: wydrukuj szablon L na kartce A3 z powiększeniem 141%. Wszystkie długości wzrosną o 41%, pole powierzchni dwukrotnie, a objętość około 2,8 raza. Otwory odsuną się od krawędzi na około 7 mm, co tylko wzmacnia model. Sznurek przygotuj o 41% dłuższy.

Sześć brył z jednej kartki

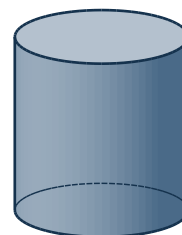
Każda z sześciu brył zaczyna się jako płaska kartka, a kończy jako przestrzenny model, który można trzymać w dłoni, oglądać z każdej strony i rozłożyć z powrotem.



sześcian

ostrosłup
czworokątnyostrosłup
trójkątnygraniastostup
trójkątny

stożek



walec

Co zostaje po zbudowaniu zestawu

- Sześć modeli, na których widać ściany, krawędzie, wierzchołki, symetrie i przekroje.
- Dwie techniki sznurka, które działają także przy innych bryłach o siatkach gwiaździstych.
- Doświadczenie, że pole powierzchni bryły to pole jej siatki, a objętość zależy od sześcianu skali.

Dalsza praca z modelami

Zachowaj po jednym złożonym egzemplarzu każdej bryły jako wzór. Pozostałe przechowuj rozłożone, ze sznurkiem w otworach: kolejne złożenie zajmie kilka sekund.